



TUGAS AKHIR – MO 141326

**UJI COBA LABORATORIUM PENGARUH DESAIN
LENGAN PADA KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE *FLAP - FLOAT*
HORIZONTAL : GELOMBANG REGULER**

Madi

NRP. 4313 100 127

Dosen Pembimbing

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017



FINAL PROJECT – MO 141326

**LABORATORY TRIAL TEST OF INFLUENCE OF ARMY
DESIGN IN THE PERFORMANCE OF ELECTRICAL
POWER PLANT FLAP – FLOAT HORIZONTAL TYPE:
REGULAR WAVE**

Madi

NRP. 4313 100 127

Supervisor

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T

Ocean Engineering Department

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember of Institute Technology

Surabaya

2017

LEMBAR PENGESAHAN

UJI COBA LABORATORIUM PENGARUH DESAIN LENGAN PADA KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE *FLAP - FLOAT HORIZONTAL* : GELOMBANG REGULER

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Madi

4313100127

Disetujui oleh:

Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D

(Pembimbing 1)

Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. MT

(Pembimbing 2)

Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc

(Penguji 1)

Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D

(Penguji 2)

Dr. Eng., Muhammad Zikra, S.T., M.Sc

(Penguji 3)

Surabaya, Juli 2017

**UJI COBA LABORATORIUM PENGARUH DESAIN LENGAN PADA
KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG LAUT TIPE
FLAP - FLOAT HORIZONTAL: GELOMBANG REGULER**

Nama : Madi
NRP : 4313 100 127
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRAK

Gelombang laut merupakan salah satu sumber energi baru dan terbarukan di wilayah perairan. Secara umum, terdapat dua prinsip kerja pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) yaitu, *Oscillating Water Column* (OWC) dan *Bottom Fixed Oscillating Flap* (BFOP). Kedua prinsip tersebut mempunyai kelemahan dan kelebihan masing – masing yaitu, pada OWC kelemahannya lebih banyak mereduksi gelombang laut dan kelebihannya pada proses instalasi sangat mudah, sedangkan kelemahan BFOP proses instalasi sangat sulit dan kelebihannya tidak mereduksi gelombang laut. Sehingga, dibutuhkan prinsip PLTGL yang tidak dapat mereduksi gelombang laut dan dapat diinstal dengan mudah. Prinsip tersebut yang ditawarkan penulis dalam penelitian tugas akhir ini yaitu, prinsip PLTGL tipe *Flap – Float Horizontal* (FFH). Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu, mengidentifikasi desain lengan, mengetahui pengaruh besar sudut β terhadap torsi dan tegangan listrik, serta mengetahui pengaruh sensitivitas desain lengan terhadap kondisi lingkungan. PLTGL FFH meninjau dari *Wave Star Energy* yang telah dikomersialkan di Denmark yang mempunyai bentuk dasar pelampung setengah bola, dengan diameter 5 meter dan panjang lengan 10 meter, hanya saja pada *Wave Star Energy* menggunakan piston untuk pembangkit listrik, sedangkan pada PLTGL FFH menggunakan *gear* dan dinamo untuk pembangkit listrik. Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode pemodelan fisik yang dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut, Departemen Teknik Kelautan FTK ITS. Percobaan dilakukan menggunakan skala 1:20, dengan variasi desain lengan yaitu, posisi lengan di atas atau di bawah permukaan air, variasi panjang lengan yaitu, 0,4 m, 0,5 m dan 0,6 m serta variasi H/gT^2 . Adapun langkah – langkah dalam penelitian ini yaitu, mencari sumber referensi dan survei lokasi penelitian, mengumpulkan peralatan dan bahan, proses pembuatan model fisik, kalibrasi alat di laboratorium, proses pengukuran, pengujian, perekaman data dan pengolahan data sampai ke tahap analisis data dan kesimpulan hasil. Hasil akhir penelitian ini, didapatkan pengaruh besar sudut β sebanding dengan torsi dan tegangan listrik dan pengaruh besar H/gT^2 yang cenderung sebanding dengan torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan.

Kata kunci: Gelombang Reguler, PLTGL, Torsi, Tegangan Listrik

(halaman ini sengaja dikosongkan)

**LABORATORY TRIAL TEST OF INFLUENCE OF ARM DESIGN IN THE
PERFORMANCE OF ELECTRICAL POWER PLANT FLAP - FLOAT
HORIZONTAL TYPE: REGULAR WAVES**

Name : Madi
NRP : 4313 100 127
Department : Ocean Engineering
Supervisors : Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D.
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRACT

Sea waves are one of the new and renewable energy sources in the territorial waters. In general, there are two working principles of ocean wave power plant (PLTGL), Oscillating Water Column (OWC) and Bottom Fixed Oscillating Flap (BFOP). Both of these principles have their weaknesses and advantages, OWC weaknesses are more likely to reduce sea waves and its advantages is in the installation process which is very easy, while the weakness of BFOP is the installation process is very difficult and the advantages is it does not reduce sea waves. Thus, it takes the PLTGL principle that does not reduce sea waves and can be installed easily. The principle offered by the author in this final project is the principle of PLTGL Flap-Float Horizontal (FFH). The purpose of this research is to identify the arm design, to know the influence of the angle of β to the torque and the electric voltage, and to know the effect of sensitivity of the arm design to the circumstances. PLTGL FFH reviews from a commercialized in Denmark named Wave Star Energy that has a base shape of a half-ball buoy, with a diameter of 5 meters and a length of 10 meters, but Star Energy Wave uses a piston for a power plant, whereas in PLTGL FFH uses a gear and a dynamo For power plant. In this study, the authors use physical modeling methods conducted in the Laboratory of Energy and Ocean Environment, Department of Ocean Engineering FTK ITS. The experiments were performed using a 1:20 scale, with variations of arm design: arm position above or below water level; arm length variation: 0.4 m, 0.5 m and 0.6 m and variation of H/gT^2 . The steps in this research that is, looking for source of reference and survey of research location, collecting equipments and materials, process of making physical model, calibrating tools in laboratory, measurement process, testing, data recording and data processing up to stage of data analysis and result conclusion. The final result of this research, the effect of the β angle is proportional to the torque and the electric voltage and the effect of H/gT^2 which tends to be proportional to the torque and the voltage generated.

Keywords: Regular Waves, PLTGL, Torque, Electrical Voltage

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta kekuatan hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Uji Coba Laboratorium Pengaruh Desain Lengan pada Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe *Flap – Float Horizontal* : Gelombang Reguler”**.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas tentang pembangkit listrik tenaga gelombang laut dengan menggunakan metode pemodelan fisik yang dilakukan percobaan di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut, Departemen Teknik Kelautan, FTK, ITS.

Penulis sangat mengharapkan agar karya tulis ini dapat memberikan ilmu pengetahuan dalam lingkup rekayasa kelautan serta dapat dikembangkan kedalam penelitian yang lebih intensif dan ekstensif.

Penulis sangat bangga bisa menyelesaikan sebuah karya penelitian PLTGL FFH ini, dan telah dilaporkan dalam bentuk tulisan dalam buku tugas akhir ini. Namun, penulis minta maaf apabila ada kesalahan penulisan maupun pada penelitian di dalam buku tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya saran atau masukan untuk perbaikan/penyusunan dalam pengembangan karya tulis ini di masa mendatang. Akhir kata penulis hanya dapat berharap penelitian ini terus berkembang agar bermanfaat bagi kemajuan dunia kelautan khususnya bidang Energi baru dan terbarukan yang bersumber dari laut.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral maupun material dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan nikmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Ranim dan Ibu Suprah sebagai orang tua kandung saya dan keluarga besar di kampung halaman, atas bantuan material dan perhatiannya yang selalu bisa menghidupkan semangat saya untuk mengerjakan tugas akhir
3. Bapak Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing I atas segala bimbingan, motivasi dan fasilitas yang memudahkan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan waktunya dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Berkat jasa dan bimbingannya, penulis menjadi lebih mengerti tentang studi dalam tugas akhir ini lebih mendalam.
5. Bapak Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D selaku koordinator tugas akhir yang selalu mengerti dan memberikan toleransi ketika mendaftar sidang sehingga memudahkan dalam prosesnya.
6. Bapak Drs. M. Musta'in, M.Sc., Ph.D yang telah mengizinkan untuk menggunakan Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut di *Flumetank* untuk melakukan proses percobaan PLTGL FFH dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Bapak Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc, Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D dan Dr. Eng., Muhammad Zikra, S.T., M.Sc, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan perbaikan yang membuat penulis lebih giat dan tekun untuk belajar dan memperbaiki penelitian pada tugas akhir ini.

8. Bapak Arief yang telah membantu selama proses berjalannya percobaan PLTGL FFH di *Flumetank*.
9. Mas Guntar yang telah membantu dalam pembuatan model fisik PLTGL FFH dan selama proses percobaan di *Flumetank*, Jangka Rulianto yang telah membantu dalam proses desain 3D PLTGL FFH, Irasani dan teman – teman lab Fisika FMIPA yang telah membantu dalam menganalisa perhitungan matematik pada sistem PLTGL FFH, dan Detya yang telah membantu merangkai sistem elektrik pada PLTGL FFH.
10. Lembaga Beasiswa ETOS dan Bidikmisi yang telah memberikan bantuan finansial dan pembinaan selama saya kuliah di ITS, hingga saya bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu.
11. Temen - temen CV Sinar Gamedia, Finalis Mawapres ITS 2017, Trainer Navigator ITS, Asisten Dosen Wawasan Teknologi dan Komunikasi Ilmiah ITS, dan Valtameri, yang saling *support* untuk bisa segera lulus.

Surabaya, Juli 2017

Madi

DAFTAR ISI

Halaman Sampul	i
Halaman Pengesahan	iii
Abstrak	iv
Abstract	vi
Kata Pengantar	viii
Ucapan Terima Kasih	x
Daftar Isi	xii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Tabel	xvi
Daftar Simbol	xviii
Daftar Lampiran	xxii
 BAB 1. Pendahuluan	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
 BAB 2. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori	 7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori	9
2.2.1 Teori Gelombang Laut Reguler	9
2.2.2 Teori Gerak Bangunan Laut	10
2.2.3 Bangunan Energi Gelombang Laut	11
2.2.4 Pemodelan Fisik Bangunan Energi Gelombang Laut	14

2.2.5 Momen Gaya (Torsi)	16
2.2.6 Tegangan Listrik	16
2.2.7 Dinamo Listrik	17
BAB 3. Metodologi Penelitian	19
3.1 Diagram Alir (<i>Flow Chart</i>)	19
3.2 Penjelasan Diagram Alir	20
BAB 4. Analisis Hasil dan Pembahasan	31
4.1 Kondisi Percobaan Model Fisik PLTGL FFH	31
4.2 Analisis Hasil Percobaan Pengaruh Besar Sudut β Terhadap Torsi dan Tegangan Listrik yang dihasilkan	37
4.3 Analisis Hasil Percobaan Sensitivitas Desain Lengan PLTGL FFH Terhadap Kondisi Lingkungan	40
BAB 5. Penutup	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
Daftar Pustaka	45
Lampiran - Lampiran	
Biodata Penulis	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Peta Potensi Sumber Daya Energi Gelombang Laut di Indonesia	1
Gambar 1.2. Sistem Kerja Energi Gelombang Laut, (a) BFOP, (b) OWC	2
Gambar 1.3. Desain FFP Setengah Bola, (a) Tampak Samping, (b) Tampak Atas (c) 3D	3
Gambar 2.1. Pengembangan <i>Prototype Wave Star Energy</i> , (a) Aalborg University, (b) Nisum Bredning, (c) Roshage	8
Gambar 2.2. Gelombang Reguler	9
Gambar 2.3. Gerakan Enam Derajat Kebebasan	11
Gambar 2.4. Bangunan Energi Gelombang Laut OWC	12
Gambar 2.5. Bangunan Energi Gelombang Laut Lepas Pantai, (a) <i>Powerbouy</i> , (b) <i>Wavebob</i> , (c) <i>Aquabouy</i>	13
Gambar 2.6. Bangunan Energi Gelombang Laut Sistem Bandulan di Indonesia	14
Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penulisan	19
Gambar 3.2. Dimensi Pelampung Setengah Bola PLTGL FFH	20
Gambar 3.3. Variasi Panjang Lengan PLTGL FFH, (a) Lengan 0.60 m, (b) Lengan 0.50 m, (c) Lengan 0.40 m	21
Gambar 3.4. Proses Pembuatan Pelampung PLTGL FFH, (a) Pembuatan Dasar Pelampung Setengah Bola, (b) Pelapisan <i>Fiber</i> , (c) Pemberian Dempul, (d) Pengeringan	22
Gambar 3.4. Proses Pembuatan Pelampung PLTGL FFH, (e) Pengeboran, (f) Meratakan Pelampung dengan diampelas, (e) Pemberian Semen, (f) Pengecatan	23
Gambar 3.5. Proses Pembuatan Lengan PLTGL FFH, (a) Pengukuran Panjang Lengan, (b) Pemotongan PVC, (c) Pengecatan, (d) Pemasangan Lengan Pada Struktur Penyangga PLTGL FFH	24
Gambar 3.6. Posisi <i>Wave Probes</i> dalam Kolam Gelombang	25
Gambar 3.7. Kalibrasi Model Fisik PLTGL FFH	25
Gambar 3.8. Parameter Skenario Dimensi PLTGL FFH	26

Gambar 3.8. Pengujian dan Perekaman Model PLTGL FFH, (a) Perekaman pada l_{3b} , (b) Perekaman pada l_{3a} , (c) Perekaman Tegangan Listrik, (d) Perekaman Putaran Gear	28
Gambar 4.1 Hubungan Torsi dengan <i>Time Series</i> pada sudut 18°	30
Gambar 4.2 Hubungan Tegangan Listrik dengan <i>Time Series</i> pada sudut 18°	31
Gambar 4.3 Hubungan Torsi dengan <i>Time Series</i> pada sudut 19°	31
Gambar 4.4 Hubungan Tegangan Listrik dengan <i>Time Series</i> pada sudut 19°	32
Gambar 4.5 Hubungan Torsi dengan <i>Time Series</i> pada sudut 20°	32
Gambar 4.6 Hubungan Tegangan Listrik dengan <i>Time Series</i> pada sudut 20°	33
Gambar 4.7 Hubungan Torsi dengan <i>Time Series</i> pada sudut 67°	33
Gambar 4.8 Hubungan Tegangan Listrik dengan <i>Time Series</i> pada sudut 67°	34
Gambar 4.9 Hubungan Torsi dengan <i>Time Series</i> pada sudut 71°	34
Gambar 4.10 Hubungan Tegangan Listrik dengan <i>Time Series</i> pada sudut 71°	35
Gambar 4.11 Hubungan Torsi dengan <i>Time Series</i> pada sudut 88°	35
Gambar 4.12 Hubungan Tegangan Listrik dengan <i>Time Series</i> pada sudut 88°	36
Gambar 4.13 Pengaruh Besar Sudut β Terhadap Torsi	37
Gambar 4.14 Pengaruh Besar Sudut β Terhadap Tegangan Listrik	37
Gambar 4.15 Pengaruh H/gT^2 Terhadap Torsi	40
Gambar 4.16 Pengaruh H/gT^2 Terhadap Tegangan Listrik	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data <i>Commercial Wave Star Energy</i>	7
Tabel 2.2. Gerakan <i>Translational</i> dan <i>Rotational</i> pada Bangunan Laut	10
Tabel 2.3. Faktor Skala pada Pemodelan Fisik	15
Tabel 2.4. Spesifikasi Dinamo DC	16
Tabel 3.1. Bahan dan Peralatan	19
Tabel 3.2. Perbandingan Dimensi Model PLTGL FFH, Skala 1:20	20
Tabel 3.3. Variasi Panjang Lengan, Skala 1:20	21
Tabel 3.4. Kalibrasi Model Fisik PLTGL FFH	25
Tabel 3.5. Menentukan Skenario Dimensi Model Fisik PLTGL FFH	26
Tabel 3.7 Variasi H/gT^2 di Alam	27
Tabel 3.8 Variasi H/gT^2 Model dengan Skala 1:20	27
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Hubungan Besar sudut β Terhadap Kecepatan Sudut pada H/gT^2 119×10^{-4}	38
Tabel 4.2 Pengaruh H/gT^2 Terhadap Kecepatan Sudut	41

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR SIMBOL

L	: Panjang Gelombang (m)
H	: Tinggi Gelombang (m)
T	: Periode Gelombang (s)
f	: Frekuensi Gelombang (Hz)
n	: Jumlah Gelombang
t	: Waktu (s)
d	: Kedalaman Air (m)
c	: Kecepatan Fase (m/s)
H_S atau $H_{1/3}$: Tinggi Gelombang Signifikan (m)
$T_{1/3}$: Periode Gelombang Signifikan (s)
H_{\max}	: Tinggi Gelombang Maksimum (m)
T_{\max}	: Periode Gelombang Maksimum (s)
T_r	: Total Periode (s)
l_p	: Panjang Lengan pada <i>Prototype</i> (m)
l_m	: Panjang Lengan pada Model (m)
λ	: Faktor Skala
H_p	: Ketinggian Gelombang untuk <i>Prototype</i> (m)
H_m	: Ketinggian Gelombang untuk Model (m)
T_p	: Periode Gelombang untuk <i>Prototype</i> (s)
T_m	: Periode Gelombang untuk Model (s)
g	: Percepatan Gravitasi (10 m/s^2)
v	: Kecepatan Linear (m/s)
ω	: Kecepatan Sudut (rpm)

R	: Jari – Jari Lingkaran (m)
F	: Gaya yang Bekerja pada Sebuah Benda (N)
a	: Percepatan linear (m/s ²)
α	: Percepatan Sudut (rad/s ²)
I	: Momen Inersia (kg.m ²)
τ	: Torsi (N.m)
T_t	: Tegangan Tali (N)
l	: Panjang Lengan (m)
l_{a1}	: Panjang Lengan Variasi 1 (0.4 m) di Atas Permukaan Air
l_{a2}	: Panjang Lengan Variasi 2 (0.5 m) di Atas Permukaan Air
l_{a3}	: Panjang Lengan Variasi 3 (0.6 m) di Atas Permukaan Air
l_{b1}	: Panjang Lengan Variasi 1 (0.4 m) di Bawah Permukaan Air
l_{b2}	: Panjang Lengan Variasi 2 (0.5 m) di Bawah Permukaan Air
l_{b3}	: Panjang Lengan Variasi 3 (0.6 m) di Bawah Permukaan Air
V	: Tegangan Listrik (Volt)
\tilde{V}	: Rata – Rata Tegangan Listrik (Volt)
F_A	: Gaya Archimedes (N)
ρ_c	: Massa Jenis Zat Cair (kg/m ³)
V_t	: Volume Benda Tercelup (m ³)
Ω	: Hambatan Listrik (ohm)
P	: Daya Listrik (watt)
A	: Amplitudo (m)
L_p	: Panjang Pelampung <i>Prototype</i> (m)
D_p	: Ketinggian Pelampung <i>Prototype</i> (m)

B_p	: Lebar Pelampung <i>Prototype</i> (m)
L_m	: Panjang Pelampung model (m)
D_m	: Ketinggian Pelampung model (m)
B_m	: Lebar Pelampung model (m)
M_p	: Massa Pelampung (Kg)
M_d	: Massa Dinamo (Kg)
R_d	: Jari – Jari Dinamo (m)
I_d	: Momen Inersia Dinamo (N.m)
β	: Sudut antara lengan pelampung dengan tali yang mengikat pada pelampung ($^{\circ}$)
γ	: Sudut antara lengan pelampung dengan tali yang mengikat pada engsel ($^{\circ}$)

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Variasi Percobaan

Lampiran B Grafik Pengolahan Data

Lampiran C. Data Rata - Rata Torsi dan Tegangan Listrik

Lampiran D. Grafik Gelombang Reguler dari Data Percobaan Laboratorium

Lampiran E. Penurunan Persamaan Matematik

Lampiran F. Anggaran Biaya

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB 1

PENDAHULUAN

“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, silih bergantinya malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia.”
(QS. Al Baqarah: 164)

BAB 1

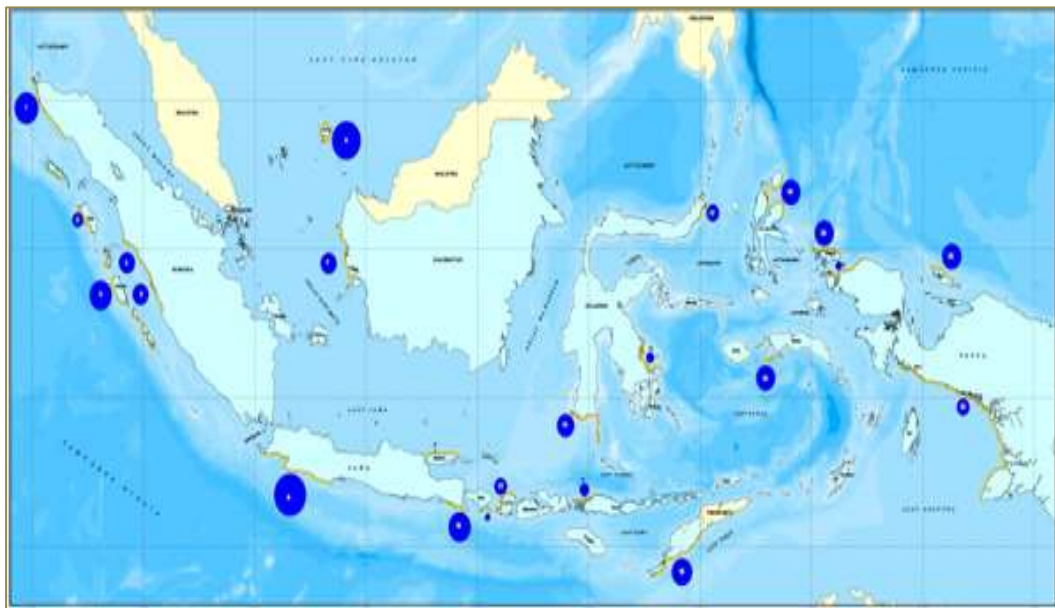
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelombang laut merupakan fenomena pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah yang tegak lurus, mempunyai tenaga yang sangat besar dan bersifat destruktif, sehingga dapat menginspirasi para ilmuwan untuk memanfaatkannya sebagai sumber energi baru dan terbarukan. Adapun potensi daya listrik yang dihasilkan dari sumber gelombang laut di dunia sebesar 29.500 TeraWatt (TW), sedangkan di Indonesia sebesar 1.995 MegaWatt (MW) (Mukhtasor, 2014).

Berdasarkan data potensi energi gelombang laut di Indonesia, dapat diketahui bahwa Indonesia mempunyai harapan untuk pengembangan pembangunan energi baru dan terbarukan yang bersumber dari gelombang laut. Dengan jumlah 1.995 MW merupakan jumlah yang tidaklah sedikit, melihat data tersebut didapat dari beberapa wilayah di Indonesia. Artinya, apabila seluruh wilayah di Indonesia dilakukan survei potensi energi gelombang laut, maka potensi daya listrik yang dihasilkan akan semakin besar dan dapat bersaing di dunia.

Adapun peta lokasi potensi energi gelombang laut di Indonesia yang telah dilakukan survei, dapat dilihat pada Gambar 1.1.

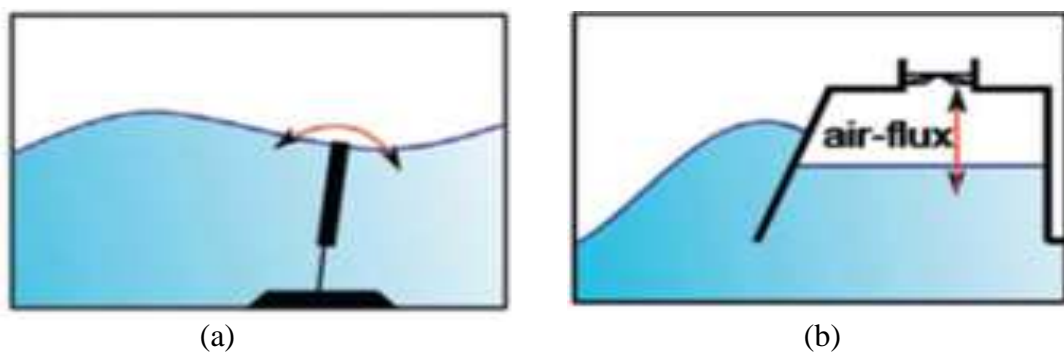


Gambar 1.1. Peta Potensi Sumber Daya Energi Gelombang Laut di Indonesia
(Sumber: Mukhtasor, 2014)

Berdasarkan Gambar 1.1 potensi energi gelombang laut sebagian besar berasal dari wilayah pantai selatan. Sehingga, pada penelitian tugas akhir ini akan menggunakan lokasi di pantai selatan, tepatnya di Pantai Arafura, Natuna dan Situbondo yang mempunyai rentang kecuraman gelombang laut (H/gT^2) antara 0,00013 – 0,01196. Selain itu, Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) yang akan diterapkan di pantai pada laut dangkal juga lebih mudah diinstal, lebih efisien, ramah lingkungan, mudah perawatan dan biaya operasional sangat rendah. Sehingga, dibutuhkan perancangan model fisik PLTGL untuk pengembangan pembangunan energi baru dan terbarukan dalam memenuhi kebutuhan listrik jangka panjang di Indonesia.

Secara umum, ada dua jenis prinsip kerja pembangkit listrik tenaga gelombang laut yaitu, prinsip *Oscillating Water Column* (OWC) dan *Bottom Fixed Oscillating Flap* (BFOP). Prinsip kerja OWC menggunakan sistem putaran turbin, sedangkan BFOP menggunakan sistem hidrolik. Berdasarkan cara instalasinya, prinsip OWC lebih mudah diinstal karena sistemnya yang sangat sederhana, sedangkan BFOP lebih sulit diinstal karena pemasangan jaringan hidrolik di dasar laut sehingga membutuhkan biaya yang lebih besar. Akan tetapi prinsip BFOP lebih optimal memanfaatkan gelombang laut dengan gerakan *pitch* dibandingkan OWC yang lebih banyak mereduksi gelombang.

Berikut ini adalah gambaran dari sistem OWC dan BFOP yang dapat dilihat pada Gambar 1.2.

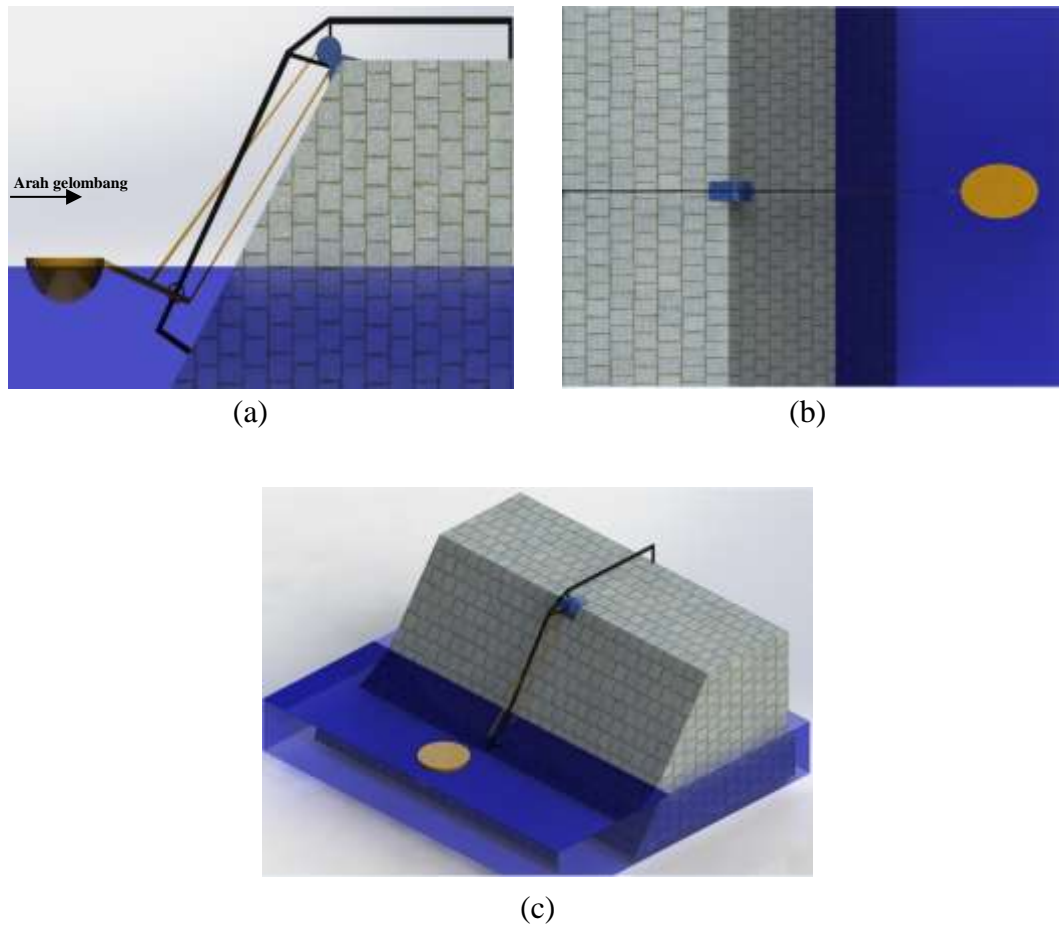


Gambar 1.2. Sistem Kerja Energi Gelombang Laut, (a) BFOP, (b) OWC

(Sumber: Benbouzid, 2015)

Oleh karena itu, penulis menawarkan perancangan model fisik PLTGL hasil perpaduan dari kedua sistem di atas. Adapun nama dari model fisik PLTGL yang

ditawarkan adalah, *Flap – Float Horizontal* (FFH). Prinsip kerja FFH yaitu memanfaatkan struktur *fixed* yang digerakkan langsung oleh gelombang laut dengan gerakan *pitch*, kemudian gerakan tersebut akan ditransfer ke *gear* sebagai pembangkit dinamo untuk menghasilkan tegangan listrik, dengan lengan sebagai penghubungnya. Berikut ini adalah, desain dari PLTGL FFH dapat dilihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3. Desain FFH Setengah Bola, (a) Tampak Sampin, (b) Tampak Atas
(c) 3D

Pada penelitian tugas akhir ini, penulis melakukan percobaan model fisik PLTGL FFH, dengan menguji coba pengaruh sudut antara lengan dengan tali pada pelampung (β) terhadap torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan dan sensitivitas desain lengan terhadap kondisi lingkungan. Percobaan dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut pada kolam gelombang (*flume tank*), Departemen

Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh besar sudut β terhadap torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan?
2. Bagaimana sensitivitas desain lengan PLTGL FFH terhadap kondisi lingkungan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh besar sudut β terhadap torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan.
2. Mengetahui sensitivitas desain lengan PLTGL FFH terhadap kondisi lingkungan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagi Pelajar dan Perguruan Tinggi
Dapat dijadikan sebagai bahan referensi dan sumber informasi untuk melakukan penelitian lebih lanjut atau melakukan pengembangan dengan meneliti aspek yang berbeda pada kinerja energi baru terbarukan yaitu, PLTGL FFH.
2. Bagi Masyarakat
Kedepannnya penelitian ini apabila telah berhasil terinstal di Indonesia, akan membantu masyarakat dalam memenuhi kebutuhan energi baru terbarukan yang efektif dan efisien.
3. Bagi Pemerintah
Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan maupun kebijakan untuk menerapkan energi baru terbarukan yang bersumber dari gelombang laut yaitu, PLTGL FFH hasil karya anak bangsa.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Percobaan model PLTGL FFH dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut pada kolam gelombang (*flume tank*) Departemen Teknik Kelautan, FTK, ITS.
2. Pelampung yang digunakan berbentuk setengah bola.
3. Analisis *breakwater* di luar pembahasan ini.
4. Analisis desain *gear* di luar pembahasan ini.
5. Tipe struktur adalah *Fixed*.
6. Analisis gelombang irreguler di luar pembahasan ini.
7. Analisis pengaruh *Buoyancy* pada lengan di luar pembahasan ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam tugas akhir ini adalah:

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bagian ini penulis menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan dari penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam percobaan, manfaat penelitian kedepannya setelah percobaan ini berhasil dilakukan, batasan masalah yang menjadi pembatas dalam melakukan penelitian, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bagian ini penulis menjelaskan beberapa teori dasar yang mendukung dengan percobaan PLTGL FFH pada tugas akhir ini.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian ini penulis menggambarkan dan menjelaskan diagram alir (*flow chart*) langkah-langkah dalam melakukan penelitian tugas akhir ini yang tersusun secara sistematis.

BAB 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini penulis menjelaskan hasil uji coba model fisik PLTGL FFH yang telah dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan Laut pada kolam gelombang (*flume tank*) Departemen Teknik Kelautan, FTK, ITS.

BAB 5. PENUTUP

Pada bagian ini penulis menarik kesimpulan berdasarkan tujuan yang hendak dicapai pada tugas akhir ini, serta memberikan saran pengembangan untuk penelitian selanjutnya.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

“Rabb-mu adalah yang melayarkan kapal-kapal di lautan untukmu, agar kamu mencari sebahagian dari karunia-Nya. Sesungguhnya Dia adalah Maha Penyayang terhadapmu.”
(QS. Al Israa’: 66)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa gelombang laut mempunyai potensi yang besar sebagai sumber pembangkit listrik energi baru dan terbarukan. Selama ini sudah banyak energi gelombang laut yang diterapkan sebagai sumber listrik dari berbagai sistem dan prinsip kerja, diantaranya yaitu BFOP dan OWC. Adapun prinsip kerja yang saat ini sedang dikembangkan dengan menggabungkan prinsip dan sistem kerja dari BFOP dan OWC yaitu, *Wave Star Energy*.

Wave Star Energy merupakan salah satu teknologi pembangkit listrik tenaga gelombang laut yang telah dikomersialkan di Denmark. *Absorber* gelombang yang digunakan yaitu pelampung setengah bola dan daya listrik yang dihasilkan sebesar 600 kW, dengan beberapa data pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Data *Commercial Wave Star Energy*
(*Sumber: Marquis et.al., 2011*)

No	Parameter	<i>Commercial Wave Star Energy</i>
1	Diameter Pelampung	5 m
2	Ketinggian Pelampung	2 m di bawah MWL 0,5 m di atas MWL
3	Panjang Lengan	10 m dan 12 m
4	Berat	1000 ton
5	Energi yang dihasilkan	600 kW

Beberapa pengembangan telah dilakukan mulai dari tahun 2004 sampai saat ini seperti pada Gambar 2.1. Pada tahun 2004 - 2005 telah dilakukan pengembangan di Aalborg University, dengan membuat *prototype wave star energy* skala 1:40 dan diameter pelampung 0,25 m. Pada tahun 2006 - 2010 telah dilakukan pengembangan di Nisuum Bredning, dengan membuat *prototype wave star energy* skala 1:10 dan diameter pelampung 1 m. Pada tahun 2009 sampai saat

ini telah dilakukan pengembangan di Roshage, dengan membuat *prototype wave star energy* skala 1:2 dan diameter pelampung 5 m (Kramer *et. al.*, 2011).



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.1. Pengembangan *Prototype Wave Star Energy*, (a) Aalborg University, (b) Nissum Bredning, (c) Roshage (**Sumber:** Kramer *et. al.*, 2011)

Dengan meninjau dari data *Wave Star Energy*, penulis melakukan percobaan membuat model fisik PLTGL FFH yang disesuaikan dengan ketinggian dan periode gelombang di laut Indonesia. Pada penelitian ini penulis hanya mengambil beberapa acuan dari *Wave Star Energy* yaitu, dimensi pelampung setengah bola dan panjang lengan dengan menggunakan skala 1:20. Selain itu, penulis melakukan percobaan dengan beberapa variasi yang berbeda dari *Wave Star Energy*. Adapun variasi yang akan dilakukan diantaranya, mengubah posisi lengan di bawah permukaan air atau di atas permukaan air, dengan tiga variasi panjang lengan yang telah di skala 1:20 yaitu, 0,4 m, 0,5 m dan 0,6 m.

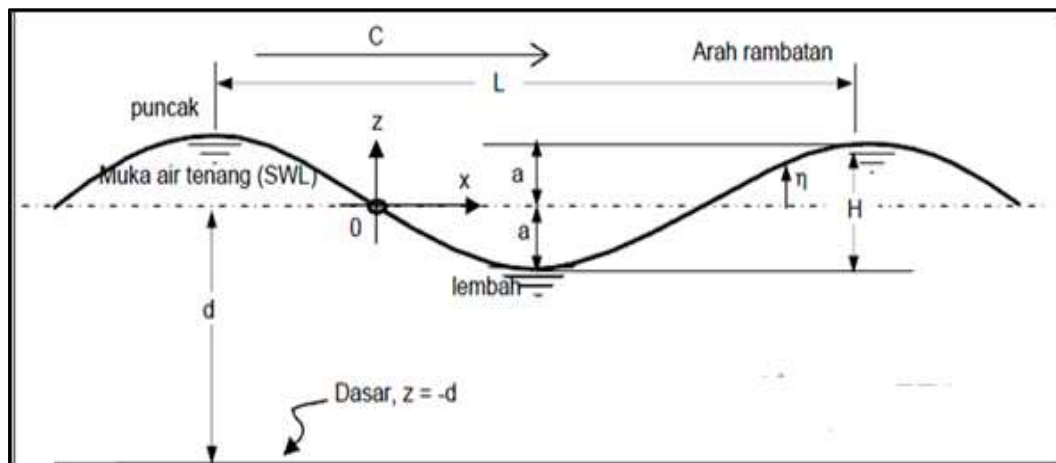
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Teori Gelombang Laut Reguler

Gelombang laut merupakan fenomena utama pada lautan, yaitu berupa gerakan naik turunnya air laut dengan arah tegak lurus terhadap permukaan air tersebut. Sedangkan secara fisika, gelombang adalah fenomena yaitu kejadian proses perpindahan energi pada badan air yang secara visual dapat dilihat tandanya berupa gerakan naik turunnya permukaan air laut. (Mukhtasor, 2014).

Gelombang laut reguler dapat diartikan sebagai gelombang tidak acak atau gelombang yang sederhana. Gambaran yang paling sederhana dari gelombang laut adalah dalam bentuk osilasi sinusoidal, seperti telah diperkenalkan oleh Airy (1845). Teori ini didasarkan pada asumsi bahwa tinggi gelombang adalah relatif kecil bila dibandingkan dengan panjangnya, ataupun kedalaman perairan seperti yang telah disampaikan oleh Chakrabarti (1987).

Adapun sketsa gambar dari gelombang reguler dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Gelombang Reguler

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Berdasarkan Gambar 2.2 dapat dijelaskan beberapa simbol di bawah ini:

- Panjang gelombang (L), yaitu jarak horizontal antara dua puncak atau dua lembah gelombang yang saling berurutan.
- Tinggi gelombang (H), yaitu jarak vertikal antara puncak gelombang dengan lembah gelombang.

- c. Periode gelombang (T), yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu gelombang dalam satuan detik.
- d. Frekuensi gelombang (f), yaitu banyaknya gelombang (n) dalam satuan waktu (t) atau dapat dirumuskan sebagai n/t dengan satuan *Hertz* (Hz)
- e. Frekuensi angular (ω), yaitu dapat dirumuskan sebagai $2\pi/T$ dengan satuan radian.
- f. Kedalaman perairan (d), yaitu jarak dari permukaan air sampai dasar laut.
- g. Kecepatan fase (c), yaitu dapat dirumuskan sebagai $c = L/T$.

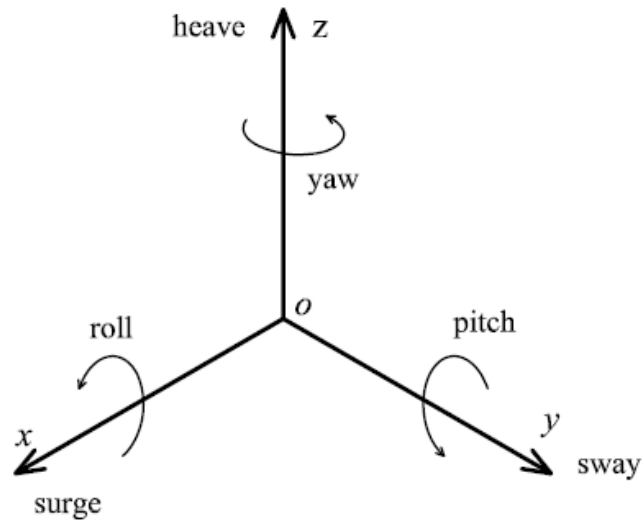
2.2.2 Teori Gerak Bangunan Laut

Pada setiap bangunan laut akan mengalami pergerakan pada strukturnya akibat gerakan dari gelombang laut yang mengenai *absorber*. Gerakan tersebut biasa disebut sebagai gerakan enam derajat kebebasan (*six degrees of freedom*). Keenam gerakan tersebut dikelompokkan menjadi dua gerakan berdasarkan sumbunya yaitu, gerakan *translational* dan *rotational*. Pada masing-masing tersebut terdapat tiga macam gerakan seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Gerakan *Translational* dan *Rotational* pada Bangunan Laut

Sumbu	<i>Translational</i>	<i>Rotational</i>
X	<i>Surge</i>	<i>Roll</i>
Y	<i>Sway</i>	<i>Pitch</i>
Z	<i>Heave</i>	<i>Yaw</i>

Berdasarkan Tabel 2.2 dapat dijelaskan bahwa gerakan *translational* atau dapat diartikan sebagai gerakan pada struktur bangunan laut baik secara horisontal maupun vertikal. Seperti halnya gerakan pada sumbu *x* dinamakan gerakan *surge*, sumbu *y* dinamakan gerakan *sway* dan sumbu *z* dinamakan gerakan *heave*. Sedangkan gerakan *rotational* yaitu gerakan pada struktur bangunan laut yang berputar pada masing-masing sumbunya. Seperti halnya gerakan yang berputar pada sumbu *x* dinamakan *roll*, sumbu *y* dinamakan *pitch* dan sumbu *z* dinamakan *yaw*. Adapun untuk memperjelas penjelasan tersebut, dapat diilustrasikan pada sketsa Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Gerakan Enam Derajat Kebebasan
(*Sumber: Backer, 2005*)

2.2.3 Bangunan Energi Gelombang Laut

Pembangunan energi gelombang laut pertama kali dibangun di daerah yang dekat dengan pantai (*near shore*), kemudian semakin berkembang dibangun di pantai (*onshore*) sampai seiring dengan berkembangnya teknologi yang memadai dilakukan pembangunan di lepas pantai (*offshore*). Pada dasarnya bangunan energi gelombang laut hanya sebagai *absorber* yang akan membangkitkan *generator* untuk menghasilkan daya listrik dalam tegangan AC yang kemudian disimpan kedalam *baterai* dalam bentuk tegangan DC sebelum dirubah menjadi tegangan AC kembali oleh *inverter* untuk dikonsumsi masal.

Sebelumnya pernah dijelaskan bahwa gelombang laut merupakan peristiwa perpindahan energi dalam bentuk naik turunnya permukaan air laut. Gerakan gelombang laut mampu menggerakkan kapal yang sedang berlayar atau bangunan terapung (*floating*) maupun terancang (*fixed*) di lepas pantai maupun di pantai. Semakin besar gelombang laut maka gerakan bangunan laut akan semakin terbawa mengikuti fluktuasi gerakan gelombang laut. Dalam hal ini, menyatakan bahwa gelombang laut mempunyai energi yang sangat besar sampai dapat menggerakkan bangunan laut yang besar dan beratnya berton-ton. Hal ini yang

menjadi alasan untuk dikembangkan bangunan laut yang dapat membangkitkan *generator* untuk menghasilkan listrik sebagai energi baru terbarukan.

Pada era modern, *Oscillating Water Column (OWC)* seperti pada Gambar 2.4. merupakan bangunan energi laut yang pertama kali dipatenkan sebagai pembangkit listrik tenaga gelombang laut. Bangunan tersebut berbentuk pelampung navigasi yang didukung dengan peralatan konversi energi termasuk turbin udara. Pelampung tersebut dikembangkan oleh Yoshio Masuda yang kemudian dikomersialkan di Jepang tahun 1965, dan di Amerika Serikat. Sebelumnya di era tahun 1799 Messers Girard dan anaknya di Perancis membangun energi gelombang laut sederhana yang dipasang di pantai untuk memompa air bersih ke desa yang terdekat. Selain krisis air bersih, krisis minyak pun di era 1970-an dan 1990-an yang dapat memicu ketertarikan dalam pembangunan teknologi energi gelombang laut (Mukhtasor, 2014).



Gambar 2.4. Bangunan Energi Gelombang Laut OWC
(Sumber: Mukhtasor, 2014)

Bangunan energi gelombang laut semakin berkembang pesat seiring dengan majunya teknologi di era modern ini. Bahkan, sudah banyak ditemukan bangunan energi gelombang laut yang telah terinstal di daerah lepas pantai dan sampai saat ini sudah ribuan paten variasi bangunan energi gelombang laut. Seperti halnya konverter *Overtopping* dan *Wave Dragon* yang diuji coba di Laut Utara Denmark. Teknologi *Attenuator Pelamis Wavepower* yang diuji coba di Skotlandia, Inggris. Teknologi *Powerbouy* yang dikembangkan di Amerika, teknologi *Wavebob* yang dikembangkan di Irlandia dan *Aquabouy* yang dikembangkan di Swedia, seperti pada Gambar 2.5.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.5. Bangunan Energi Gelombang Laut Lepas Pantai, (a) *Powerbouy*, (b) *Wavebob*, (c) *Aquabouy*
(Sumber: Mukhtasor, 2014)

Adapun perkembangan bangunan energi gelombang laut di Indonesia yaitu, Naga Listrik dan PLTO (Pembangkit Listrik Tenaga Ombak) yang dikembangkan oleh Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPH BPPT) dengan status uji coba. Selain itu, dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) yang bekerjasama dengan Pusat Penelitian dan Pengembangan PLN serta PT. Gelombang Energi Indonesia sedang mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan (PLTGL-SB) seperti pada Gambar 2.6 yang sedang diuji coba di pantai Kota Padang dan di utara Pulau Madura (Mukhtasor, 2014).



Gambar 2.6. Bangunan Energi Gelombang Laut Sistem Bandulan di Indonesia
(Sumber: Mukhtasor, 2014)

2.2.4 Pemodelan Fisik Bangunan Energi Gelombang Laut

Pada dasarnya pemodelan fisik yaitu suatu kegiatan yang dilakukan untuk menguji coba model yang mempunyai bentuk sama dengan *prototype*, akan tetapi dimensi atau ukurannya yang lebih kecil dengan meninjau kesebangunan atau similaritas yang cukup memadai. Dalam pembuatan model suatu *prototype* membutuhkan skala pembanding yang lebih kecil sebagai parameter ukuran percobaan laboratorium.

Dalam melakukan pemodelan fisik suatu bangunan laut seperti pembangunan energi baru terbarukan harus menggunakan hukum pemodelan Froude. Pemodelan Froude sendiri didefinisikan sebagai rasio dari gaya inersia dengan gaya gravitasi dari fluida di medium (Chakrabarti, 1994).

Pada model fisik PLTGL FFH terdapat variasi input kecuraman gelombang (H/gT^2) yang didapat dari alam, sedangkan yang digunakan dalam laboratorium dapat digunakan sesuai dengan pemodelan froude pada Persamaan 2.1 (Chakrabarti, 1994).

$$F_r = \frac{H_p}{g(T_p)^2} = \frac{H_m}{g(T_m)^2} \quad (2.1)$$

Keterangan:

F_r = Froude number

H_p = Ketinggian gelombang laut di lingkungan

T_p = Periode gelombang laut di lingkungan
 H_m = Ketinggian gelombang laut yang digunakan untuk percobaan
 T_m = Periode gelombang laut yang digunakan untuk percobaan
 g = gravitasi (10 m/s)

Pada percobaan model fisik PLTGL FFH skala yang digunakan adalah, 1:20, adapun faktor skala yang digunakan berdasarkan Froude number (Chakrabarti, 1994) dapat dilihat pada Tabel 2.3 dan penurunan persamaannya dapat dilihat pada Lampiran E.

Tabel 2.3. Faktor Skala pada Pemodelan Fisik
(Sumber: Chakrabarti, 1994)

No	Variabel	Simbol	Faktor Skala
1	Panjang Lengan	L	λ
2	Ketinggian Gelombang	H	λ
3	Periode Gelombang	T	$\lambda^{1/2}$

Pada umumnya terdapat empat kriteria kesebangunan (*similarity*) yang perlu dipertimbangkan dalam pemodelan fisik yaitu, fisik, geometrik, kinematik dan dinamik (Chakrabarti, 1994).

1. Kesebangunan Fisik yaitu, dengan menimbangkan bentuk fisik model yang sama dengan bentuk fisik *prototype*, hanya saja ukuran pada model lebih kecil dari pada *prototype*. Adapun pada model fisik PLTGL FFH yang mempunyai bentuk fisik sama yaitu, terletak pada pelampung yang mempunyai bentuk setengah bola seperti pada *prototype wave star energy*.
2. Kesebangunan Geometrik yaitu, bentuk model dan *prototype* sebangun. Artinya, perbandingan semua ukuran panjang antara model dengan *prototype* harus sebanding dan diberikan faktor skala, sebagaimana dapat dilihat pada Persamaan 2.2.

$$\lambda = \frac{L_p}{L_m} \quad (2.2)$$

Dimana L_p adalah panjang pada *prototype*, L_m panjang pada model dan λ adalah faktor skala yang digunakan.

3. Kesebangunan Kinematik yaitu, aliran pada model dan *prototype* sebangun. Artinya, kecepatan aliran yang terjadi di titik – titik yang sama

pada model dan *prototype* mempunyai arah yang sama dan sebanding, sebagaimana dapat dilihat pada Persamaan 2.3.

$$\lambda = \frac{v_p}{v_m} \quad (2.3)$$

Dimana v_p adalah kecepatan *prototype*, v_m kecepatan model dan λ adalah faktor skala yang digunakan.

4. Kesebangunan Dinamik yaitu, perbandingan gaya – gaya pada model dan *prototype* harus sama dan sebanding. Adapun gaya yang berpengaruh pada model PLTGL FFH yaitu gaya berat, sama seperti pada *prototype wave star energy*. Adapun persamaannya dapat dilihat pada Persamaan 2.4.

$$\lambda = \frac{W_p}{W_m} \quad (2.4)$$

Dimana W_p adalah kecepatan *prototype*, W_m kecepatan model dan λ adalah faktor skala yang digunakan. Dimana berat pelampung setengah bola pada *prototype* 100 Kg dan pada model dengan skala 1:20 yaitu sebesar 5 Kg.

2.2.5 Momen Gaya (Torsi)

Momen gaya atau lebih dikenal dengan torsi adalah, kemampuan dari suatu gaya untuk memutar benda agar berotasi. Secara umum, torsi dilambangkan dengan τ (huruf kecil dari abjad yunani tau) yang secara matematis yaitu hasil kali antara gaya (F) dan lengan gaya (l) (Jumini dan Muhlisoh, 2013). Apabila panjang lengan semakin diperbesar, maka momen gaya akan semakin besar.

Pada kasus gerak rotasi, torsi dapat dirumuskan pada Persamaan 2.5.

$$\tau = I \cdot \frac{\omega}{t} \quad (2.5)$$

Dimana, I adalah momen inersia (Kg.m^2), α adalah percepatan sudut (rad/s^2), ω adalah kecepatan sudut (rpm) dan t adalah waktu (s). Pada Persamaan 2.5 dapat dijelaskan bahwa besar torsi sebanding dengan besar kecepatan sudut.

2.2.6 Tegangan Listrik

Tegangan listrik atau potensial adalah kejadian perpindahan arus listrik akibat adanya perbedaan lokasi pada potensialnya. Secara matematik, tegangan listrik dapat dirumuskan pada Persamaan 2.6 dan 2.7.

$$V = I \cdot \Omega \quad (2.6)$$

atau

$$V = \frac{P}{I} \quad (2.7)$$

Dimana, I adalah arus listrik (ampere), Ω adalah hambatan (ohm) dan P adalah daya listrik (watt). Semakin besar tegangan listrik maka daya listrik yang dihasilkan akan semakin besar.

2.2.7 Dinamo Listrik

Dinamo merupakan salah satu alat pembangkit listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Dinamo terdiri atas dua bagian berdasarkan prinsip kerjanya yaitu, AC (bolak - balik) dan DC (searah). Pada penelitian ini, penulis menggunakan dinamo DC dengan spesifikasi pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Spesifikasi Dinamo DC
(*Sumber: Bukalapak.com*)

No	Spesifikasi	Harga
1	Tegangan Listrik Maksimum	24 Volt
2	Arus Listrik	0,14 – 0,20 A
3	Torsi Maksimum	0,2 N.m
4	Diameter	4 cm
5	Panjang	9 cm
6	Berat	150 g

Dalam menghasilkan daya listrik pada sebuah dinamo dengan torsi yang telah ditentukan, dapat menggunakan rumus umum Lynn (2014) pada Persamaan 2.8.

$$P = \omega \cdot \tau \quad (2.8)$$

Dimana, P adalah daya listrik dalam satuan watt (w), ω adalah kecepatan sudut dalam rotasi permenit (rpm) dan τ adalah torsi dalam satuan newton meter (N.m).

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB 3

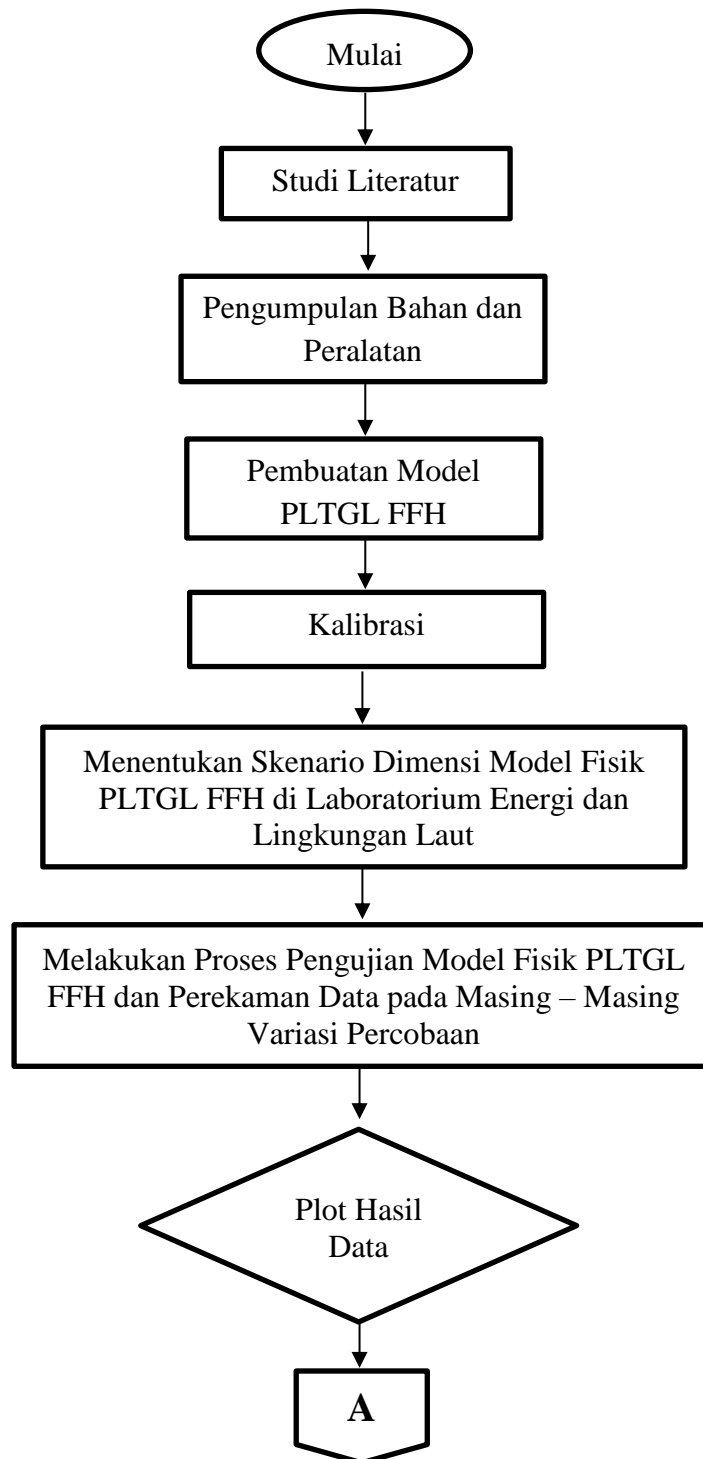
METODOLOGI PENELITIAN

*“Dan Dia-lah, Allah yang menundukkan **lautan** (untukmu), agar kamu dapat memakan daripadanya daging yang segar (ikan).”
(QS. An Nahl: 14)*

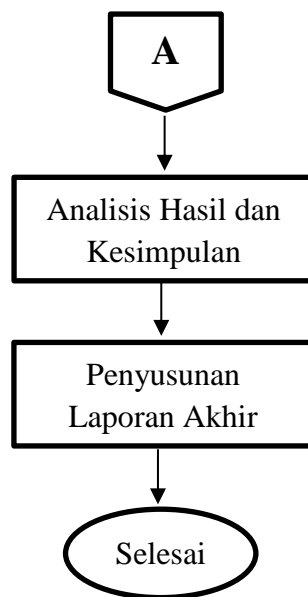
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*)

Dalam penelitian ini, penulis menggambarkan langkah-langkah pelaksanaan tugas akhir ini dalam *flow chart* seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.2 Penjelasan Diagram Alir

Berdasarkan Gambar 3.1., dapat dijelaskan langkah-langkah dalam penelitian pada tugas akhir di bawah ini:

1. Studi Literatur

Tahap ini penulis melakukan pencarian sumber informasi, referensi dan survei lokasi. Hal ini dilakukan sebagai bahan pendukung pada tugas akhir ini. Adapun sumber referensi dan informasi yang penulis dapatkan dari berbagai jurnal nasional maupun internasional, buku dan berbagai referensi dari internet.

2. Pengumpulan Bahan dan Peralatan

Tahap ini penulis mengumpulkan bahan dan peralatan yang dibutuhkan untuk membuat model fisik PLTGL FFH. Adapun bahan dan peralatan yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 3.1. Dengan anggaran biaya dapat dilihat pada Lampiran F.

Tabel 3.1. Bahan dan Peralatan

No	Bahan	Peralatan
1	<i>Fiber</i>	Pisau dan <i>Cutter</i>
2	<i>Polivinil Chlorida</i> (PVC)	<i>Voltmeter</i>
3	<i>Styrofoam</i>	<i>Dinamo</i>

Tabel 3.1. Bahan dan Peralatan

4	Tali Prusik	<i>Gear</i>
5	Dempul	Gergaji
6	Cat	Gunting
7	Semen	Bor Listrik
8	Kayu	Penggaris

3. Pembuatan Model PLTGL FFH

a. Tahap Pertama, Penentuan Dimensi Model

Dalam pembuatan model PLTGL FFH, yang perlu dilakukan terlebih dahulu yaitu, penentuan dimensi dari pelampung sebagai *absorber* gelombang. Dalam percobaan ini bentuk dari pelampung yang digunakan yaitu, setengah bola. Adapun dimensi dari model pelampung setengah bola dengan skala 1:20 dari *prototype* dapat dilihat pada Tabel dan Gambar 3.2.

Tabel 3.2. Perbandingan Dimensi Model Pelampung Setengah Bola, Skala 1:20

Perbandingan Dimensi Model						
Model	<i>Prototype</i>			Model		
	L_p (m)	B_p (m)	D_p (m)	L_m (m)	B_m (m)	D_m (m)
Setengah bola	5	5	2	0,25	0,25	0,1



Gambar 3.2. Dimensi Pelampung Setengah Bola PLTGL FFH

Pada penelitian ini, penulis mengidentifikasi desain lengan, yaitu dengan variasi panjang lengan pada kinerja PLTGL FFH. Adapun standar panjang lengan yang menghubungkan pelampung pada *prototype* PLTGL yang telah dikomersialkan yaitu, sepanjang 10 meter dan 12 meter (Marquis *et.al.*,

2011). Variasi panjang lengan yang menghubungkan pelampung pada model fisik PLTGL FFH yang akan dilakukan uji coba laboratorium dalam tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel dan Gambar 3.3.

Tabel 3.3. Variasi Panjang Lengan (l), Skala 1:20

Jenis	Ukuran <i>Prototype</i> (m)	Ukuran Model (m)
l_1	8	0,4
l_2	10	0,5
l_3	12	0,6



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.3. Variasi Panjang Lengan PLTGL FFH, (a) Lengan 0,60 m, (b) Lengan 0,50 m, (c) Lengan 0,40 m

b. Tahap Kedua, Pembuatan Pelampung

Dalam pembuatan pelampung pada PLTGL FFH bahan utama sebagai pencetaknya adalah *Styrofoam*, bahan tersebut dipilih karena lebih mudah mengapung di atas permukaan air. Bentuk dasar pelampung pada penelitian ini adalah, setengah bola seperti pada Gambar 3.2. Kemudian

Styrofoam dilapisi dengan *fiber* dan dempul yang berfungsi sebagai serat agar tidak tembus air dan pelampung menjadi lebih kuat. Setelah itu, menunggu sekitar 24 jam agar pelampung kering. Tahap selanjutnya apabila pelampung sudah kering, kemudian pelampung diberi lubang dengan cara di bor untuk penghubung lengan PLTGL FFH dan diampelas agar permukaan pelampung terlihat lebih rata. Tahap terakhir yaitu, disemen dan dicat agar pelampung lebih tahan lama di atas permukaan air.

Adapun beberapa proses tahapan dalam pembuatan pelampung PLTGL FFH dapat dilihat pada Gambar 3.4.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.4. Proses Pembuatan Pelampung PLTGL FFH, (a) Pembuatan Dasar Pelampung Setengah Bola, (b) Pelapisan *Fiber*, (c) Pemberian Dempul, (d) Pengeringan



(e)



(f)



(e)



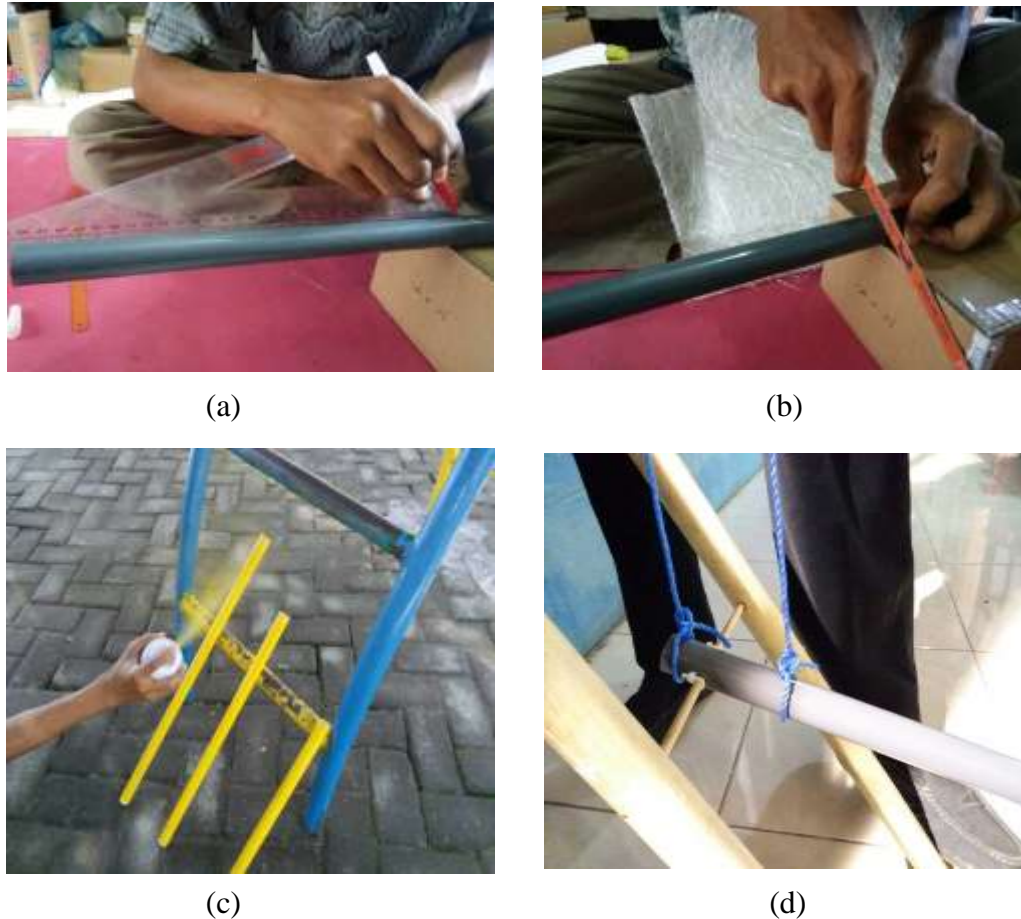
(f)

Gambar 3.4. Proses Pembuatan Pelampung PLTGL FFH, (e) Pengeboran, (f) Meratakan Pelampung dengan diampelas, (e) Pemberian Semen, (f) Pengecatan

c. Tahap Ketiga, Pembuatan Lengan

Bahan dasar lengan dari PVC yang telah ditentukan panjangnya seperti pada Gambar 3.3. Tahap pertama yang perlu dilakukan adalah, pengukuran panjang pipa sesuai dengan variasi, kemudian pipa dipotong menggunakan gergaji. Tahap kedua yaitu pemberian cat agar pipa lebih tahan lama. Setelah itu, Lengan akan disambung dengan struktur penyangga lengan yang dihubungkan engsel sebagai penggerak elastis. Selain itu lengan akan dipasang tali penghubung untuk menggerakkan *gear* yang digunakan untuk pembangkit *dinamo* penghasil tegangan listrik, dengan voltmeter sebagai alat ukur tegangan listrik. Tahap terakhir, lengan akan dihubungkan pada pelampung PLTGL FFH.

Adapun beberapa proses tahapan dalam pembuatan lengan PLTGL FFH dapat dilihat pada Gambar 3.5.

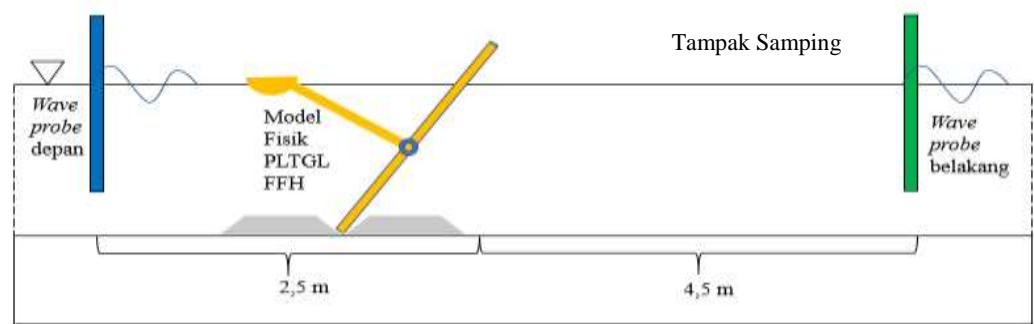


Gambar 3.5. Proses Pembuatan Lengan PLTGL FFH, (a) Pengukuran Panjang Lengan, (b) Pemotongan PVC, (c) Pengecatan, (d) Pemasangan Lengan Pada Struktur Penyangga PLTGL FFH

4. Kalibrasi

Sebelum melakukan percobaan PLTGL FFH, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi alat yang ada di *flume tank* yaitu, *wave probe*. *Wave probe* adalah, alat pengukur fluktuasi muka air yang tercelup ke dalam air. Tujuan dari kalibrasi alat ini adalah, untuk mengetahui hubungan antara pembangkit gelombang terhadap parameter input yang diberikan, sehingga didapatkan akurasi yang tinggi setiap pembacaan *wave probe*. Adapun cara yang digunakan yaitu, dimulai dengan mencatat *zero point* (titik referensi awal berdasar permukaan air) dari *wave probe* dan kemudian

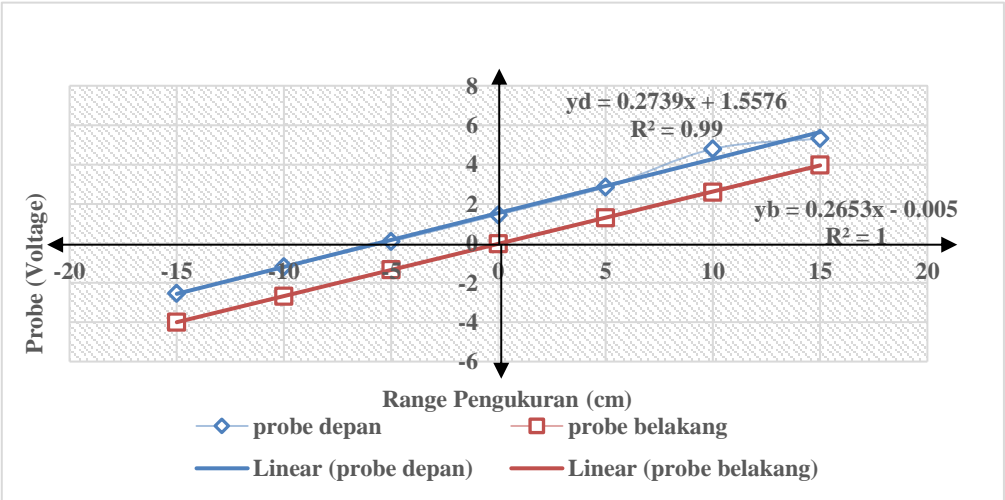
merekamnya. Selanjutnya, pembacaan dilakukan dengan menaikkan dan menurunkan *wave probe* sejauh 0,05 m dari posisi *zero point* dan mencocokkan setiap perubahan elektroda (*voltage*) yang tercelup pada setiap perubahan kedalaman. Pembacaan dilakukan hingga perubahan kedalaman mencapai 0,15 m di atas dan di bawah muka air, sebagaimana dapat dijelaskan pada Gambar 3.6 dan 3.7 serta Tabel 3.4.



Gambar 3.6. Posisi *Wave Probes* dalam Kolam Gelombang

Tabel 3.4. Kalibrasi Model Fisik PLTGL FFH

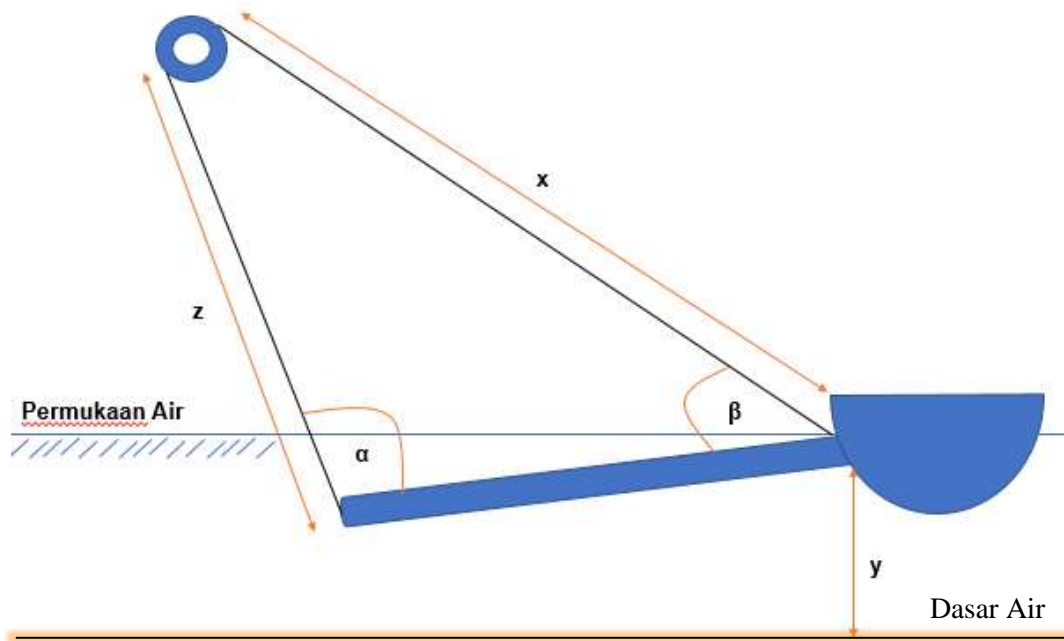
No	Kalibrasi Model Fisik PLTGL FFH		
	Range Pengukuran (cm)	Probe Depan (Voltage)	Probe Belakang (Voltage)
1	15	5,327	3,983
2	10	4,793	2,595
3	5	2,862	1,300
4	0	1,452	0,011
5	-5	0,091	-1,336
6	-10	-1,195	-2,683
7	-15	-2,529	-4,002



Gambar 3.7. Kalibrasi Model Fisik PLTGL FFH

5. Menentukan Skenario Dimensi Model Fisik PLTGL FFH

Pada proses ini dilakukan pengukuran model fisik PLTGL FFH yang telah terpasang di kolam gelombang. Adapun parameter yang diukur dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan hasil pengukuran yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.5.



Gambar 3.8. Parameter Skenario Dimensi PLTGL FFH

Tabel 3.5. Menentukan Skenario Dimensi Model Fisik PLTGL FFH

No	Parameter	Simbol	Satuan	l_a (m)			l_b (m)		
				0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6
1	Jarak ujung lengan yang menyatu dengan pelampung ke dasar air	y	Cm	70	77	89	58	60	65
2	Panjang tali yang menghubungkan gear dengan ujung lengan pada engsel	z	Cm	70	70	70	135	135	135
3	Panjang tali yang menghubungkan gear dengan ujung lengan pada pelampung	x	Cm	106	111	117	126	132	137

Tabel 3.5. Menentukan Skenario Dimensi Model Fisik

4	Sudut antara lengan dengan tali pada engsel	α	Derajat	82	85	90	135	143	154
5	Sudut antara lengan dengan tali pada pelampung	β	Derajat	18	19	20	67	71	88

6. Melakukan Proses Pengujian Model dan Perekaman Data

Pada proses pengujian PLTGL FFH dilakukan selama dua menit dalam satu variasi, dengan proses penstabilan sekitar satu menit dan perekaman data satu menit. Adapun variasi yang digunakan sebagai *input* percobaan adalah, variasi panjang lengan sebanyak tiga, variasi posisi lengan sebanyak dua dan variasi H/gT^2 sebanyak duabelas. Variasi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A. Adapun variasi H/gT^2 yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.6 dan 3.7.

Tabel 3.6 Variasi H/gT^2 di Alam

(*Sumber: Akhwady, 2012*)

No	H (m)	T (s)	H/gT^2
1	1,81	3,93	0,0119
2	1,71	4,04	0,0107
3	1,68	3,99	0,0108
4	1,54	3,98	0,0099
5	1,42	4,32	0,0078
6	1,36	3,67	0,0033
7	0,85	3,71	0,0063
8	0,29	2,62	0,0043
9	0,27	2,87	0,0078
10	0,13	2,92	0,0016
11	0,09	3,49	0,0008
12	0,02	3,95	0,0001

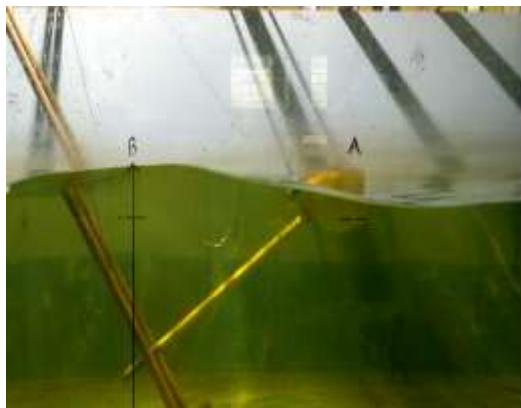
Tabel 3.7 Variasi H/gT^2 Model dengan Skala 1:20

No	H (cm)	T (s)	H/gT^2
1	9,05	0,88	0,0119
2	8,55	0,90	0,0107
3	8,40	0,89	0,0108
4	7,70	0,89	0,0099

Tabel 3.7 Variasi H/gT^2 Model dengan Skala

5	7,10	0,97	0,0078
6	6,80	0,82	0,0033
7	4,25	0,83	0,0063
8	1,45	0,59	0,0043
9	1,35	0,64	0,0078
10	0,65	0,65	0,0016
11	0,45	0,78	0,0008
12	0.10	0,88	0,0001

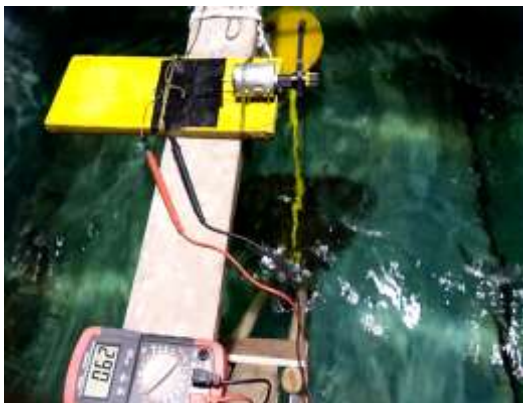
Selain itu, pada proses ini dilakukan perekaman data *output* percobaan yaitu, tegangan listrik (V) yang dapat dilihat pada Gambar 3.9.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.9 Pengujian dan Perekaman Model PLTGL FFH, (a) Perekaman pada l_{3b} , (b) Perekaman pada l_{3a} (c) Perekaman Tegangan Listrik, (d) Perekaman Putaran Gear

7. Plot Hasil Data

Setelah hasil pengujian dan perekaman data selesai dilakukan, selanjutnya adalah dilakukan pengolahan data untuk menganalisis hasil percobaan model fisik PLTGL FFH. Proses ini menghabiskan waktu 30 menit dalam satu variasi, dengan jumlah variasi 72 sehingga dalam pengolahan data hasil percobaan dapat menghabiskan waktu 2160 menit atau setara dengan 36 jam.

8. Analisis Hasil dan Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap data yang telah diolah dalam bentuk grafik dan tabel. Analisis dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian tugas akhir ini yaitu, pengaruh besar sudut β terhadap torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan dan sensitivitas desain lengan terhadap kondisi lingkungan. Kemudian selanjutnya, dapat diambil kesimpulan berdasarkan permasalahan dan tujuan dari penelitian tugas akhir ini.

9. Penyusunan Laporan Akhir

Tahap ini merupakan tahap penyusunan laporan akhir dari hasil penelitian model fisik PLTGL FFH, yang telah disesuaikan berdasarkan sistematika penulisan tugas akhir.



BAB 4

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

*“Dihalalkan bagimu binatang buruan laut dan makanan (yang berasal) dari laut sebagai makanan yang lezat bagimu, dan bagi orang-orang yang dalam perjalanan.”
(QS. Al Maidah: 96)*

BAB 4

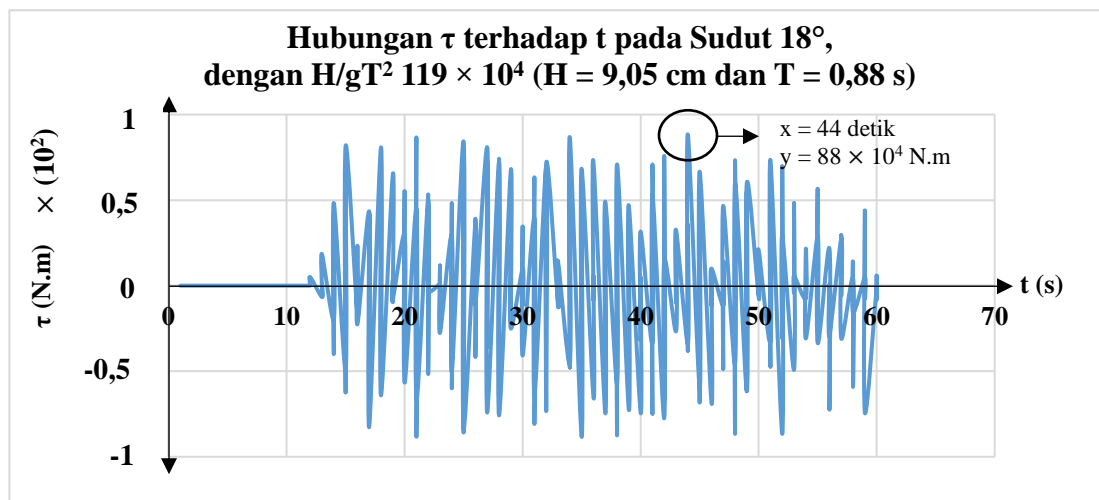
ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Percobaan Model Fisik PLTGL FFH

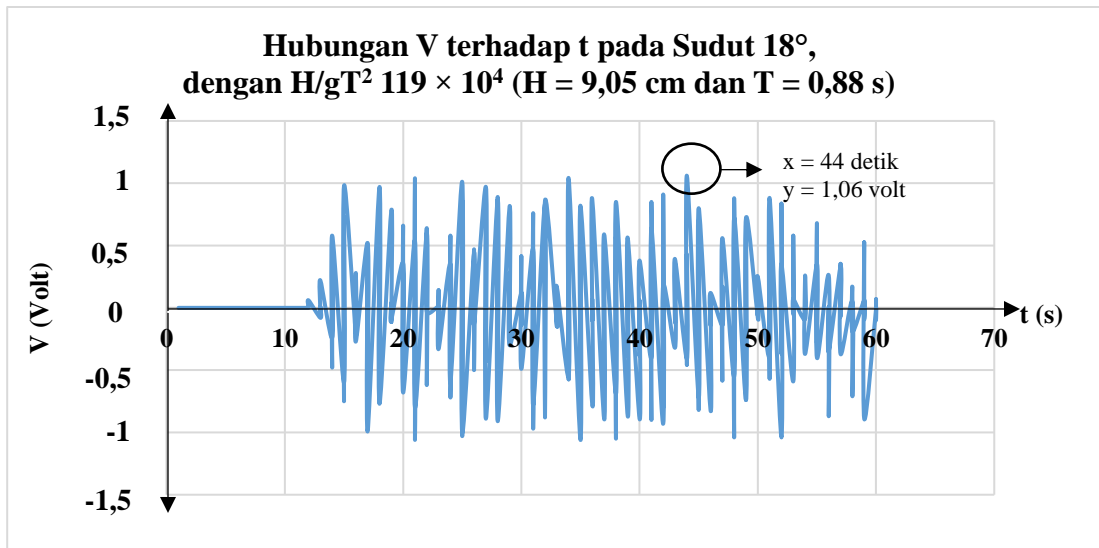
Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan proses *running* selama 60 detik, dengan detik ke-0 saat *input* data. Adapun *input* data yang dimaksud yaitu, kecuraman gelombang atau H/gT^2 . Pada masing – masing *input* variasi H/gT^2 , akan menghasilkan masing – masing *output* berupa torsi dan tegangan listrik selama 60 detik percobaan. Selengkapnya, dapat dilihat pada Lampiran B.

Pada kondisi H/gT^2 yang sama, akan menghasilkan *output* torsi dan tegangan listrik selama 60 detik percobaan pada masing – masing keenam variasi sudut β . Adapun besar sudut β yang dimaksud adalah, yang dibentuk pada lengan di atas permukaan air 18° , 19° , 20° , dan yang dibentuk pada lengan di bawah permukaan air 67° , 71° , dan 88° .

Pada variasi sudut β yang pertama yaitu, 18° terjadi pada lengan di atas permukaan air dengan panjang 0,4 m dan *input* H/gT^2 119×10^4 , didapatkan *output* torsi maksimum dan tegangan listrik maksimum masing – masing sebesar 88×10^4 N.m dan 1,06 volt yang terjadi pada detik ke-44. Sedangkan rata – rata torsi dan tegangan listrik masing – masing sebesar $18,4 \times 10^4$ N.m dan 0,221 volt yang dihitung pada saat gelombang mengenai pelampung dan semua data dibuat positif. Adapun penjelasannya dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.

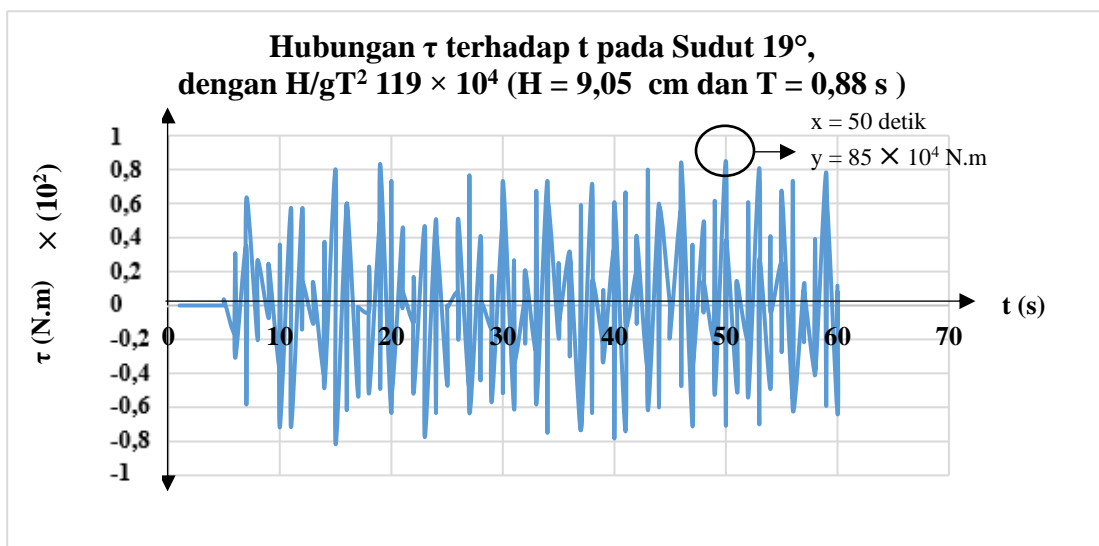


Gambar 4.1 Hubungan Torsi dengan *Time Series* pada sudut 18°

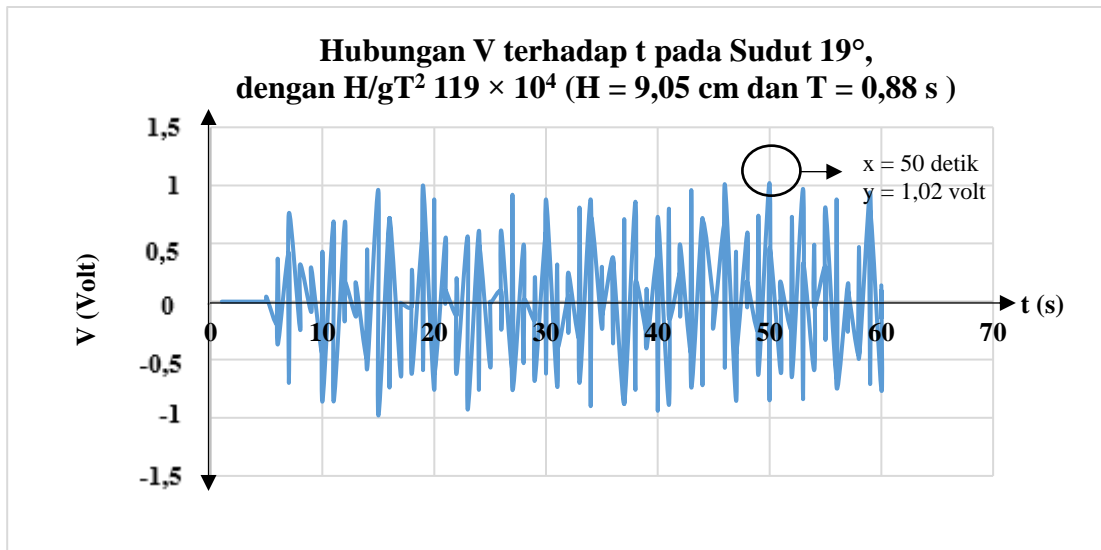


Gambar 4.2 Hubungan Tegangan Listrik dengan *Time Series* pada sudut 18°

Pada variasi sudut β yang kedua yaitu, 19° terjadi pada lengan di atas permukaan air dengan panjang 0,5 m dan *input* H/gT^2 119×10^4 , didapatkan *output* torsi maksimum dan tegangan listrik maksimum masing – masing sebesar 85×10^4 N.m dan 1,02 volt yang terjadi pada detik ke-50. Sedangkan rata – rata torsi dan tegangan listrik masing – masing sebesar $29,5 \times 10^4$ N.m dan 0,354 volt yang dihitung pada saat gelombang mengenai pelampung dan semua data dibuat positif. Adapun penjelasannya dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.

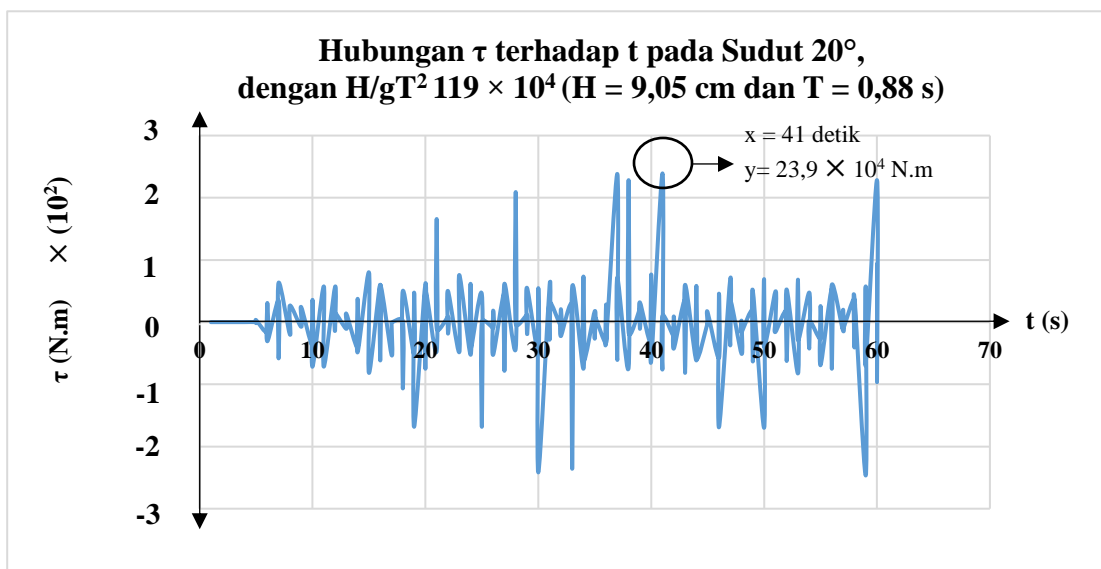


Gambar 4.3 Hubungan Torsi dengan *Time Series* pada sudut 19°

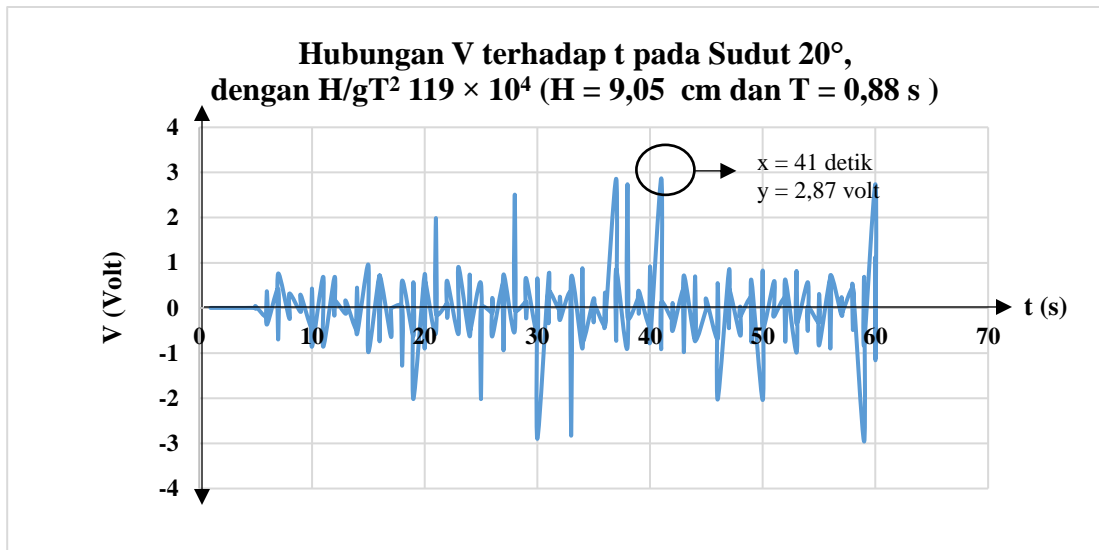


Gambar 4.4 Hubungan Tegangan Listrik dengan *Time Series* pada sudut 19°

Pada variasi sudut β yang ketiga yaitu, 20° terjadi pada lengan di atas permukaan air dengan panjang 0,6 m dan *input* H/gT^2 119×10^4 , didapatkan *output* torsi maksimum dan tegangan listrik maksimum masing – masing sebesar $23,9 \times 10^4$ N.m dan 2,87 volt yang terjadi pada detik ke-41. Sedangkan rata – rata torsi dan tegangan listrik masing – masing sebesar $36,1 \times 10^4$ N.m dan 0,433 volt yang dihitung pada saat gelombang mengenai pelampung dan semua data dibuat positif. Adapun penjelasannya dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.

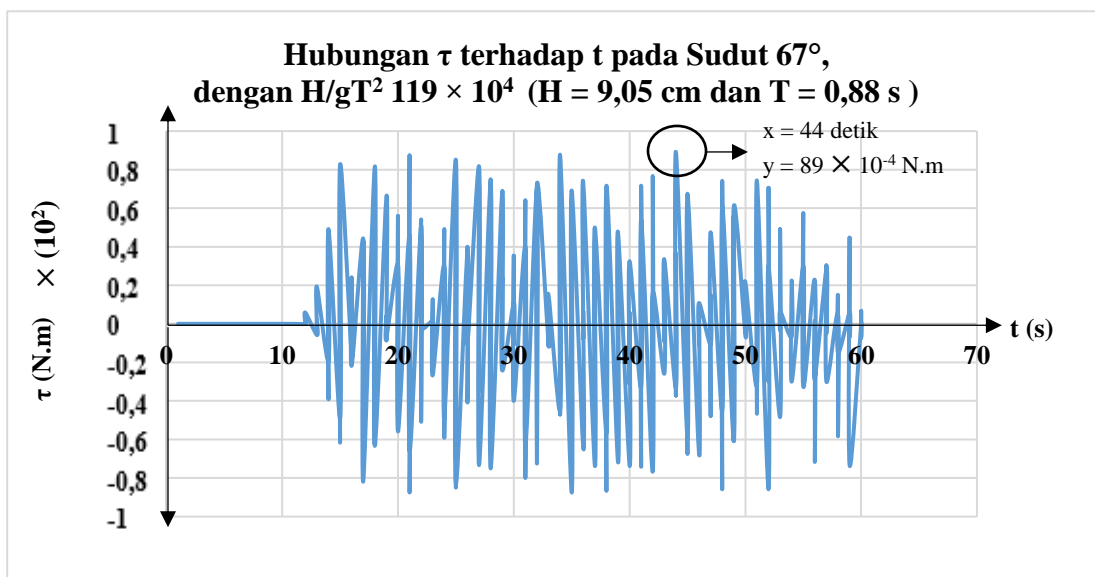


Gambar 4.5 Hubungan Torsi dengan *Time Series* pada sudut 20°

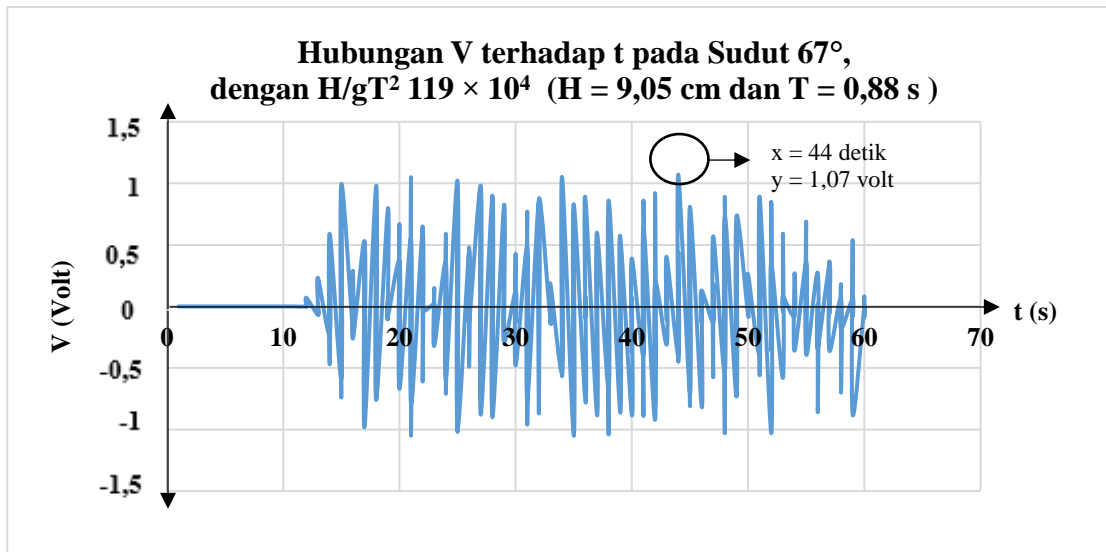


Gambar 4.6 Hubungan Tegangan Listrik dengan *Time Series* pada sudut 20°

Pada variasi sudut β yang keempat yaitu, 67° terjadi pada lengan di bawah permukaan air dengan panjang 0,4 m dan *input* H/gT^2 119×10^4 , didapatkan *output* torsi maksimum dan tegangan listrik maksimum masing – masing sebesar 89×10^4 N.m dan 1,07 volt yang terjadi pada detik ke-44. Sedangkan rata – rata torsi dan tegangan listrik masing – masing sebesar $34,1 \times 10^4$ N.m dan 0,409 volt yang dihitung pada saat gelombang mengenai pelampung dan semua data dibuat positif. Adapun penjelasannya dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

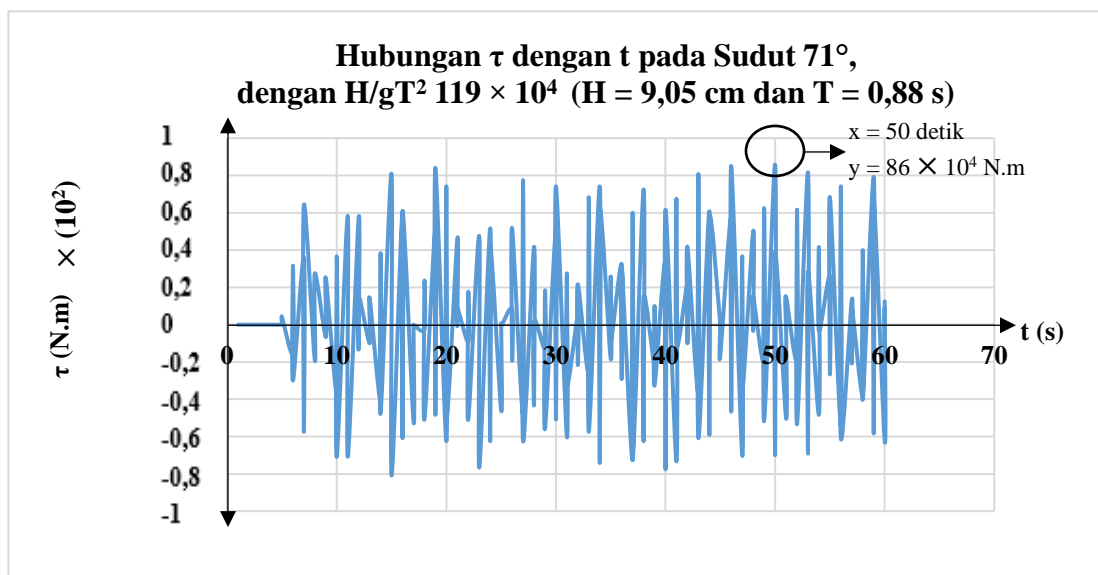


Gambar 4.7 Hubungan Torsi dengan *Time Series* pada sudut 67°

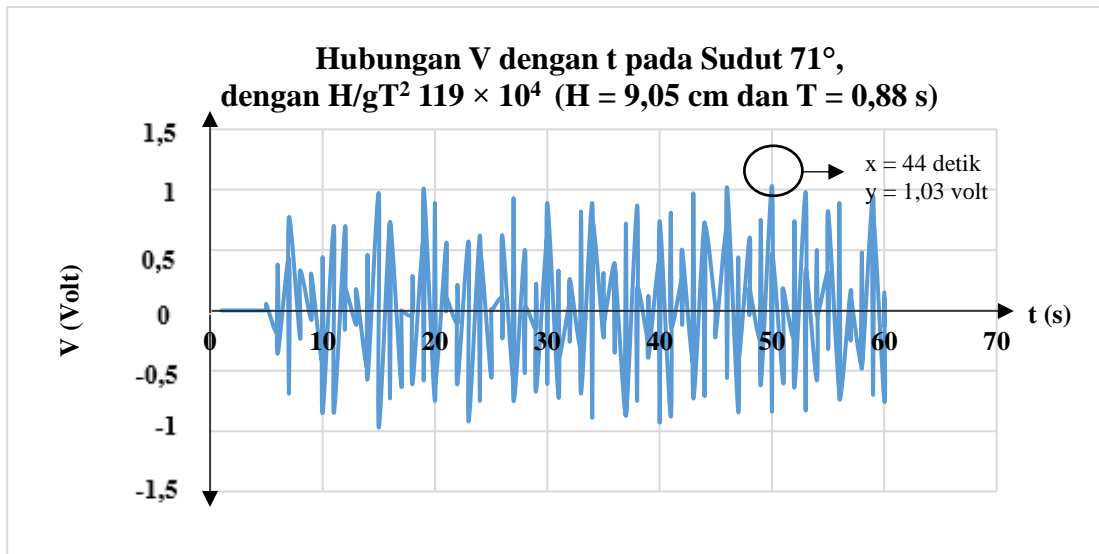


Gambar 4.8 Hubungan Tegangan Listrik dengan *Time Series* pada sudut 67°

Pada variasi sudut β yang kelima yaitu, 71° terjadi pada lengan di bawah permukaan air dengan panjang 0,5 m dan *input* H/gT^2 119×10^4 , didapatkan *output* torsi maksimum dan tegangan listrik maksimum masing – masing sebesar 86×10^4 N.m dan 1,03 volt yang terjadi pada detik ke-50. Sedangkan rata – rata torsi dan tegangan listrik masing – masing sebesar $37,3 \times 10^4$ N.m dan 0,448 volt yang dihitung pada saat gelombang mengenai pelampung dan semua data dibuat positif. Adapun penjelasannya dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.

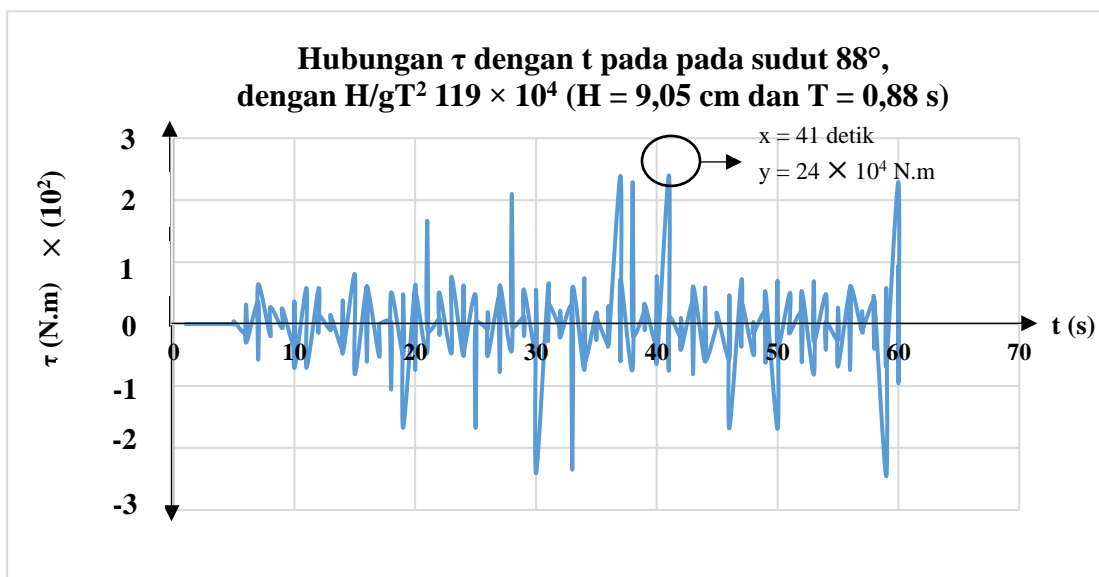


Gambar 4.9 Hubungan Torsi dengan *Time Series* pada sudut 71°

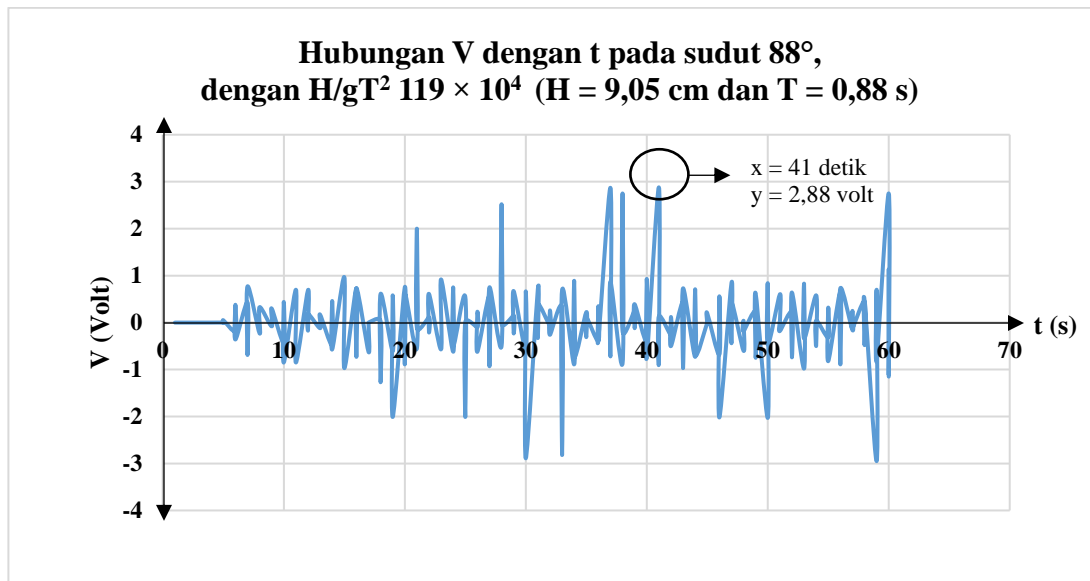


Gambar 4.10 Hubungan Tegangan Listrik dengan *Time Series* pada sudut 71°

Pada variasi sudut β yang keenam yaitu, 88° terjadi pada lengan di bawah permukaan air dengan panjang 0,6 m dan *input* H/gT^2 119×10^4 , didapatkan *output* torsi maksimum dan tegangan listrik maksimum masing – masing sebesar 24×10^4 N.m dan 2,88 volt yang terjadi pada detik ke-41. Sedangkan rata – rata torsi dan tegangan listrik masing – masing sebesar $50,2 \times 10^4$ N.m dan 0,602 volt yang dihitung pada saat gelombang mengenai pelampung dan semua data dibuat positif. Adapun penjelasannya dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



Gambar 4.11 Hubungan Torsi dengan *Time Series* pada sudut 88°



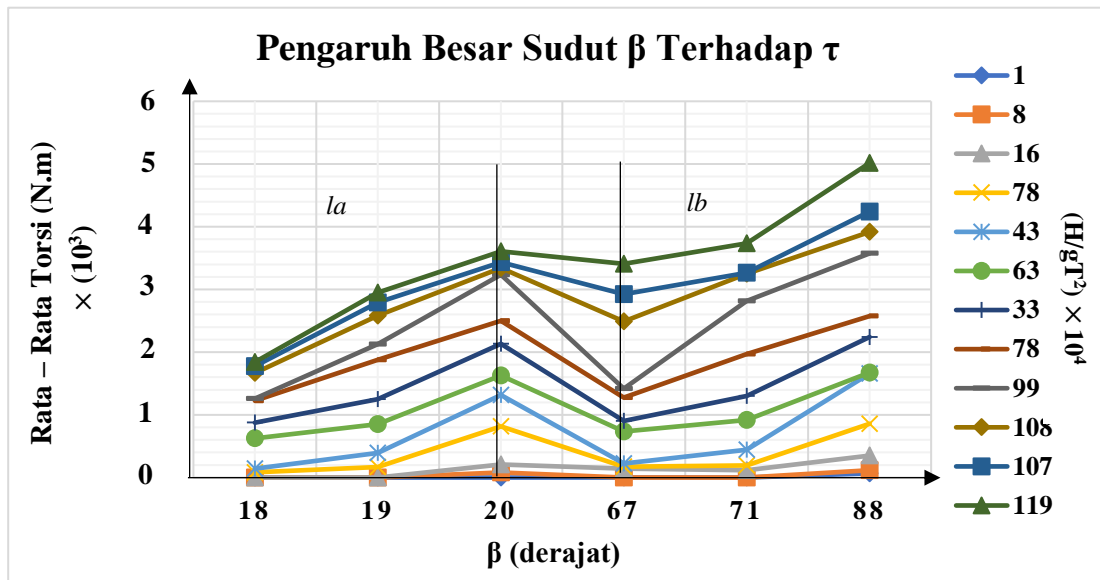
Gambar 4.12 Hubungan Tegangan Listrik dengan *Time Series* pada sudut 88°

4.2 Analisis Hasil Percobaan Pengaruh Besar Sudut β Terhadap Torsi dan Tegangan Listrik yang dihasilkan

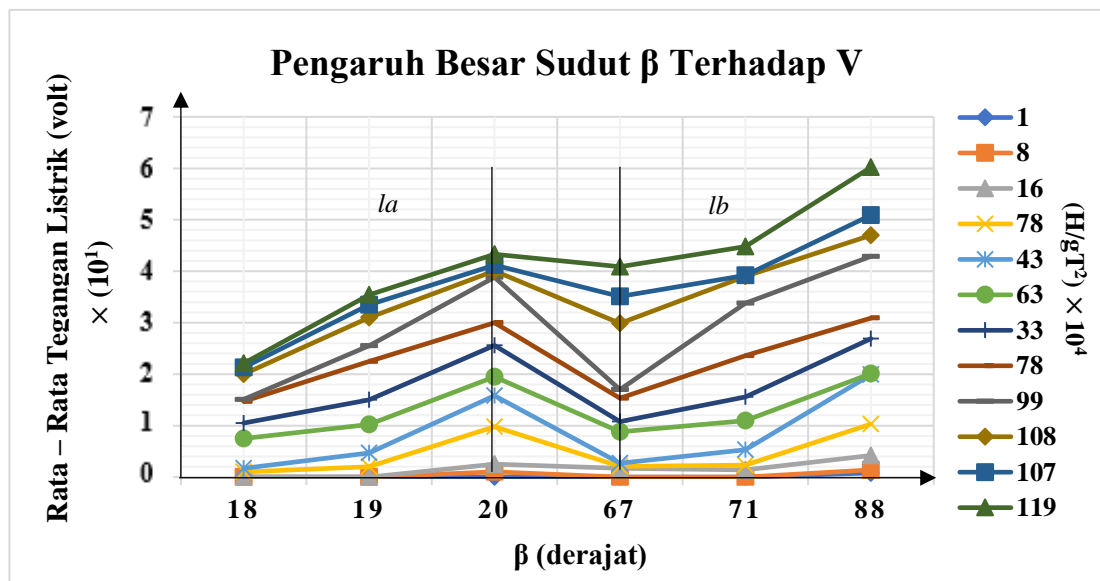
Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa keenam besar sudut yang telah didapatkan dari hasil pengukuran, diperoleh dengan merubah variasi panjang lengan dan posisi lengan di atas atau di bawah permukaan air. Pada posisi lengan di atas permukaan air didapatkan besar sudut 18° yang dibentuk dari panjang lengan 0,4 m, 19° yang dibentuk dari panjang lengan 0,5 m, dan 20° yang dibentuk dari panjang lengan 0,6 m. sedangkan pada posisi lengan di bawah permukaan air didapatkan besar sudut 67° yang dibentuk dari panjang lengan 0,4 m, 71° yang dibentuk dari panjang lengan 0,5 m, dan 88° yang dibentuk dari panjang lengan 0,6 m. Sehingga dapat juga dijelaskan bahwa semakin besar panjang lengan maka besar sudut yang dibentuk akan semakin besar. Selain itu, pada panjang lengan yang sama besar sudut yang dibentuk pada lengan di bawah permukaan air lebih besar dari lengan di atas permukaan air.

Berdasarkan hasil percobaan pada tugas akhir ini, didapatkan rata – rata torsi dan tegangan listrik yang sebanding dengan besar sudut β pada posisi lengan yang sama yaitu, di atas atau di bawah permukaan air. Jadi, semakin besar sudut β maka torsi dan

tegangan listrik yang dihasilkan akan semakin besar. Adapun penjelasannya dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan 4.14. Data selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.



Gambar 4.13 Pengaruh Besar Sudut β Terhadap Torsi



Gambar 4.14 Pengaruh Besar Sudut β Terhadap Tegangan Listrik

Berdasarkan Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 dapat diketahui bahwa pada posisi lengan yang sama baik di atas maupun di bawah permukaan air, menghasilkan besar torsi dan tegangan listrik yang sebanding dengan besar sudut β . Akan tetapi, terdapat penurunan grafik pada sudut β 20° menuju sudut β 67°, hal tersebut terjadi karena panjang dan posisi lengan yang berbeda, sehingga tidak bisa dibandingkan.

Data analisis hasil percobaan sesuai dengan analisis matematik pada sistem PLTGL FFH yang menyatakan bahwa besar sudut β sebanding dengan torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan. Adapun hasil analisis matematik dapat dilihat pada Persamaan 4.1., dengan penurunan persamaan dapat dilihat pada Lampiran E.

$$\omega = \frac{(M_p g - F_A) R t}{I_d \sin \beta} \quad (4.1)$$

Dimana M_p adalah massa pelampung yang besarnya 500 gram, F_A adalah gaya Archimedes ($\rho g V_t$) dengan besar volume pelampung tercelup (V_t) sebesar 0,25 m³ pada H/gT^2 119 x 10⁻⁴, I_d adalah momen inersia dinamo ($M_d R^2$) dengan besar massa dinamo (M_d) yaitu 15 gram dan jari – jari dinamo (R) sebesar 0,02 m. Jadi, berdasarkan besaran yang telah ditentukan, didapatkan masing - masing besar kecepatan sudut (ω) pada setiap variasi panjang lengan yaitu, dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Hubungan Besar sudut β Terhadap Kecepatan Sudut pada H/gT^2 119 x 10⁻⁴

No	l (m)	l_a (m)		l_b (m)	
		B	ω (rpm)	β	ω (rpm)
1	0,4	18°	5.129	67°	15.270
2	0,5	19°	5.394	71°	15.768
3	0,6	20°	5.677	88°	16.432

Berdasarkan penjelasan sebelumnya dari hasil data percobaan telah diketahui bahwa besar torsi berbanding lurus dengan tegangan listrik. Selain itu, berdasarkan Persamaan 2.5., telah dijelaskan bahwa besar torsi berbanding lurus dengan besar kecepatan sudut, sehingga besar tegangan listrik juga berbanding lurus dengan besar kecepatan sudut.

Jadi, dapat diambil kesimpulan untuk menjawab tujuan yang pertama ini bahwa berdasarkan hasil percobaan dan perhitungan dapat diketahui pengaruh besar sudut β berbanding lurus dengan besar torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan.

4.3 Analisis Hasil Percobaan Sensitivitas Desain Lengan PLTGL FFH Terhadap Kondisi Lingkungan

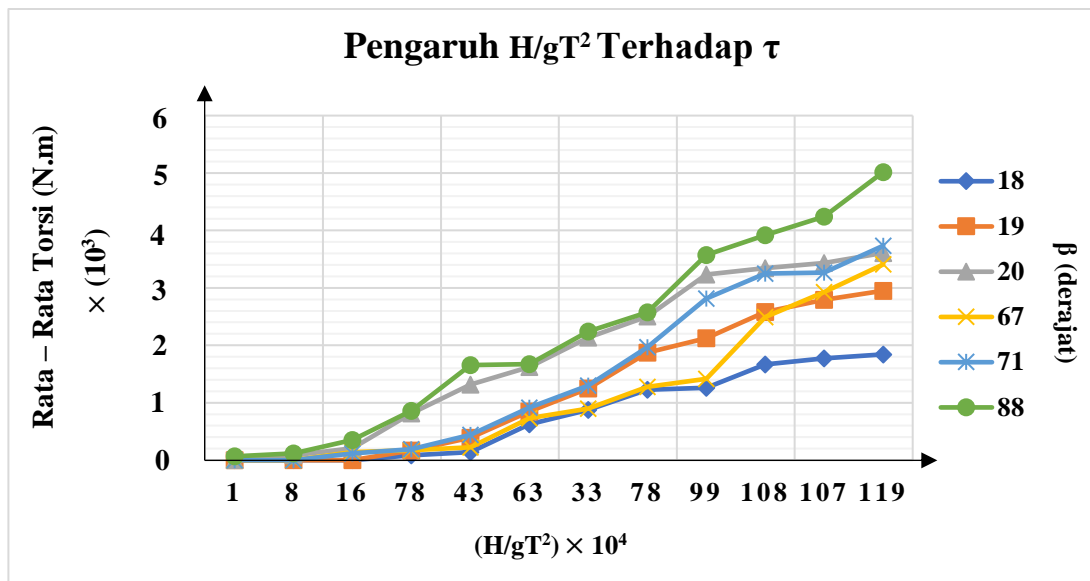
Pada pembahasan ini yang dimaksud pengaruh sensitivitas desain lengan PLTGL FFH terhadap kondisi lingkungan adalah, kecuraman gelombang laut atau H/gT^2 . Pada penelitian ini menggunakan variasi H/gT^2 sebanyak duabelas seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 3.6 dan 3.7.

Berdasarkan hasil analisis percobaan model fisik PLTGL FFH dapat dijelaskan bahwa H/gT^2 cenderung mempengaruhi torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan. Secara umum, semakin besar H/gT^2 maka torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan akan semakin besar. Sedangkan semakin besar ketinggian gelombang (H) maka torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan akan semakin besar.

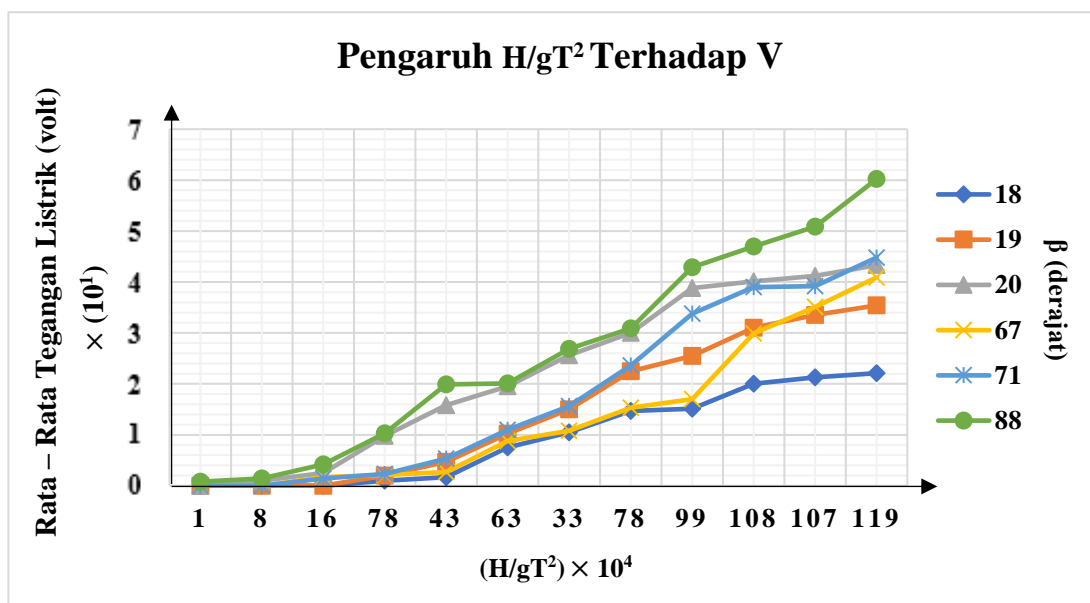
Misalnya, pada sudut β 18° dengan H/gT^2 108×10^4 menghasilkan torsi dan tegangan listrik yang lebih kecil dari H/gT^2 107×10^4 . Hal tersebut dapat terjadi karena ketinggian gelombang pada H/gT^2 108×10^4 lebih kecil dari H/gT^2 107×10^4 . Sehingga lebih tepatnya adalah, semakin besar ketinggian gelombang maka torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan akan semakin besar. Begitupun terjadi hal yang sama pada variasi sudut yang lainnya, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan 4.16.

Pada Gambar 4.15 dan 4.16 menunjukkan bahwa sumbu horizontal sebagai H/gT^2 berupa angka yang tidak berurutan, hal tersebut dikarenakan disusun berdasarkan kenaikan ketinggian gelombang (H). Selain itu, terdapat H/gT^2 yang sama yaitu, 78×10^4 akan tetapi keduanya mempunyai ketinggian gelombang dan periode gelombang yang berbeda.

Torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan pada sudut β yang sama dengan input variasi H/gT^2 didapatkan hasil tertinggi pada H/gT^2 119×10^4 . Hal tersebut dikarenakan pada kondisi tersebut merupakan variasi dengan ketinggian gelombang tertinggi dari variasi lainnya.



Gambar 4.15 Pengaruh H/gT^2 Terhadap Torsi



Gambar 4.16 Pengaruh H/gT^2 Terhadap Tegangan Listrik

Berdasarkan Gambar 4.15 dan 4.16 dapat diambil kesimpulan untuk menjawab tujuan kedua dari penelitian pada tugas akhir ini yaitu, bahwa H/gT^2 berbanding lurus dengan torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan. Artinya, sensitivitas desain lengan sangat mempengaruhi kondisi lingkungan.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB 5

PENUTUP

*“Apakah kamu tiada melihat bahwasanya Allah menundukkan bagimu apa yang ada di bumi dan bahtera yang berlayar di **lautan** dengan perintah-Nya.”*
(QS. Al Hajj: 65)

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dan hasil analisis dari percobaan laboratorium pengaruh desain lengan pada kinerja PLTGL FFH untuk menyelesaikan tugas akhir ini, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besar sudut β berbanding lurus dengan besar torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan pada masing – masing variasi panjang lengan dalam kondisi posisi lengan yang sama. Selain itu, besar sudut β berbanding lurus dengan besar torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan pada panjang lengan yang sama dengan posisi lengan yang berbeda. Percobaan ini, yang dapat menghasilkan torsi dan tegangan listrik tertinggi terjadi saat sudut β 88° pada panjang lengan 0,6 m dengan posisi lengan di bawah permukaan air.
2. Pengaruh sensitivitas desain lengan terhadap kondisi lingkungan yaitu, kecuraman gelombang (H/gT^2) cenderung berbanding lurus dengan torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan. Selain itu, besar ketinggian gelombang (H) berbanding lurus dengan besar torsi dan tegangan listrik yang dihasilkan. Percobaan ini, yang dapat menghasilkan torsi dan tegangan listrik tertinggi terjadi saat H/gT^2 119×10^4 pada ketinggian gelombang tertinggi dari variasi lainnya yaitu, 0,905 m.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang telah dicapai penulis dalam penelitian tugas akhir ini, didapatkan beberapa saran untuk pengembangan PLTGL FFH kedepannya yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan analisis gelombang reguler, sehingga dibutuhkan pengembangan untuk penelitian selanjutnya, dengan menggunakan gelombang irreguler agar mengetahui perbandingannya.

2. Penelitian ini menghasilkan tegangan listrik yang sangat kecil, sehingga dibutuhkan pengembangan penelitian selanjutnya agar tegangan listrik yang dihasilkan menjadi besar. Dengan cara memperbesar skala model fisik PLTGL FFH, mengubah desain *gear* dan menggunakan material yang kuat.
3. Penelitian ini menghasilkan putaran *gear* yang tidak satu putaran penuh, sehingga kedepannya dapat diperbaiki dengan cara menggunakan sistem piston yang dapat memutar *gear* satu putaran penuh, agar tegangan listrik yang dihasilkan bertambah besar.
4. Penelitian ini beberapa kali mengalami patah pada bagian lengan dan putus pada tali, sehingga kedepannya dapat diperbaiki dengan menggunakan material dan bahan yang lebih kuat.



DAFTAR PUSTAKA

*“Dan Dia telah menundukkan bahtera bagimu supaya bahtera itu berlayar di **lautan** dengan kehendak-Nya, dan Dia telah menundukkan (pula) bagimu sungai-sungai.”*
(QS. Ibrahim: 32)

DAFTAR PUSTAKA

- Airy, G. B. 1845. *On Tides and Waves*. Encyclopedia Metropolitana, Vol. 5, Article 192, pp. 241 – 396, London.
- Akhwady, Rudhy. 2012. *Kinerja Terumbu Buatan Silinder Berongga (Bottle Reef) Sebagai Pemecah Gelombang Ambang Terbenam*. Manajemen Pantai. Fakultas Teknologi Kelautan ITS, Surabaya.
- Anonim. 2017. *Dinamo DC 24 Volt*. Diakses pada tanggal 7 mei 2017 di www.bukalapak.com.
- Backer, Griet De. 2005. *Hydrodynamic Design Optimation of Wave Energy Converters Consisting of Heaving Point Absorber*. Dissertation Submitted to Obtain The Academic Degree of Doctor of Civil Engineering. Faculty of Engineering Ghent University. Belgium.
- Benbouzid, Hosna Titah dan Mohamed Benbouzid. 2015. *An Up-to-Date Technologies Review and Evaluation of Wave Energy Converters. International Review of Electrical Engineering*. Vol. 10 No.1, 52-61.
- Chakrabarti, S. K. 1987. *Hydrodynamics Of Offshore Structure*. Computational Mechanics Publications Southampton Boston, Springer – Verlag, Berlin.
- Chakrabarti, S. K. 1994. *Offshore Structure Modelling*. World Scientific Publishing, Singapore.
- Jumini, Sri dan Lilis Muhliso. 2013. *Pengaruh Perbedaan Panjang Poros Suatu Benda Terhadap Kecepatan Sudut Putar*. Prodi Pendidikan Fisika, FITK, UNSIQ Wonosobo Jawa Tengah.
- Kramer, Morten., Laurent Marquis., Peter Fregard. 2011. *Performance Evaluation Of The Wavestar Prototype*. Wave Star Energy Conference in Southampton. UK.
- Lynn. Paul A. 2014. *Electrecity From Wave and Tide An Introduction to Marine Energy*. Interial Collage London, UK.
- Marquis, Laurent., Morten Kramer., Peter Fregard. 2011. *First Power Production Result From The Wave Star Rosage Wave Energy Converter*. 3rd International Conference on Ocean Energy. Bilbao.

Mukhtasor. 2014. *Mengenal Energi Laut*. Surabaya: Penerbit ICEES.

Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset : Yogyakarta.



LAMPIRAN - LAMPIRAN

*“Dan di antara tanda-tanda kekuasaan-Nya ialah kapal-kapal di tengah (yang berlayar) di laut
seperti gunung-gunung.”
(QS. Asy Syura: 32)*



LAMPIRAN A VARIASI PERCOBAAN

“Tidakkah kamu memperhatikan bahwa sesungguhnya kapal itu berlayar di laut dengan nikmat Allah, supaya diperlihatkan-Nya kepadamu sebahagian dari tanda-tanda (kekuasaan)-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda bagi semua orang yang sangat sabar lagi banyak bersyukur.”
(QS. Luqman: 31)

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran A. Variasi Percobaan

Variasi Ke-	Panjang Lengan (m)	Posisi Lengan	H/gT2	Sudut
1	0,4	a	0,0119	18°
2	0,4	a	0,0107	18°
3	0,4	a	0,0108	18°
4	0,4	a	0,0099	18°
5	0,4	a	0,0078	18°
6	0,4	a	0,0033	18°
7	0,4	a	0,0063	18°
8	0,4	a	0,0043	18°
9	0,4	a	0,0078	18°
10	0,4	a	0,0016	18°
11	0,4	a	0,0008	18°
12	0,4	a	0,0001	18°
13	0,5	a	0,0119	19°
14	0,5	a	0,0107	19°
15	0,5	a	0,0108	19°
16	0,5	a	0,0099	19°
17	0,5	a	0,0078	19°
18	0,5	a	0,0033	19°
19	0,5	a	0,0063	19°
20	0,5	a	0,0043	19°
21	0,5	a	0,0078	19°
22	0,5	a	0,0016	19°
23	0,5	a	0,0008	19°
24	0,5	a	0,0001	19°
25	0,6	a	0,0119	20°
26	0,6	a	0,0107	20°
27	0,6	a	0,0108	20°
28	0,6	a	0,0099	20°
29	0,6	a	0,0078	20°
30	0,6	a	0,0033	20°
31	0,6	a	0,0063	20°
32	0,6	a	0,0043	20°
33	0,6	a	0,0078	20°
34	0,6	a	0,0016	20°
35	0,6	a	0,0008	20°
36	0,6	a	0,0001	20°

37	0,4	b	0,0119	67°
38	0,4	b	0,0107	67°
39	0,4	b	0,0108	67°
40	0,4	b	0,0099	67°
41	0,4	b	0,0078	67°
42	0,4	b	0,0033	67°
43	0,4	b	0,0063	67°
44	0,4	b	0,0043	67°
45	0,4	b	0,0078	67°
46	0,4	b	0,0016	67°
47	0,4	b	0,0008	67°
48	0,4	b	0,0001	67°
49	0,5	b	0,0119	71°
50	0,5	b	0,0107	71°
51	0,5	b	0,0108	71°
52	0,5	b	0,0099	71°
53	0,5	b	0,0078	71°
54	0,5	b	0,0033	71°
55	0,5	b	0,0063	71°
56	0,5	b	0,0043	71°
57	0,5	b	0,0078	71°
58	0,5	b	0,0016	71°
59	0,5	b	0,0008	71°
60	0,5	b	0,0001	71°
61	0,6	b	0,0119	88°
62	0,6	b	0,0107	88°
63	0,6	b	0,0108	88°
64	0,6	b	0,0099	88°
65	0,6	b	0,0078	88°
66	0,6	b	0,0033	88°
67	0,6	b	0,0063	88°
68	0,6	b	0,0043	88°
69	0,6	b	0,0078	88°
70	0,6	b	0,0016	88°
71	0,6	b	0,0008	88°
72	0,6	b	0,0001	88°

Keterangan:

a = posisi lengan di atas permukaan air

b = posisi lengan di bawah permukaan air



LAMPIRAN B

GRAFIK PENGOLAHAN DATA

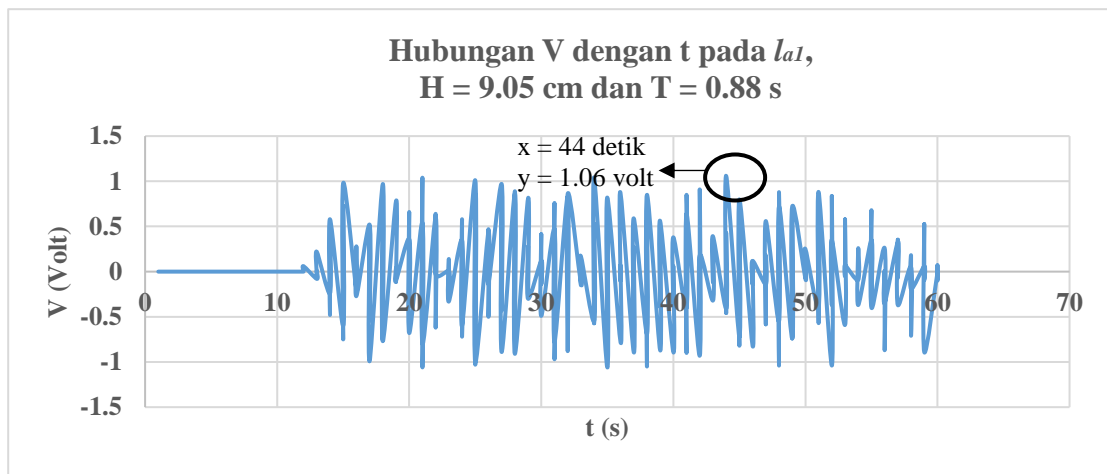
*“Katakanlah: Sekiranya **lautan** menjadi tinta untuk (menulis) kalimat-kalimat Rabbku, sungguh habislah **lautan** itu sebelum habis (ditulis) kalimat-kalimat Rabbku, meskipun Kami datangkan tambahan sebanyak itu (pula).”*

(QS. Al Kahfi: 109)

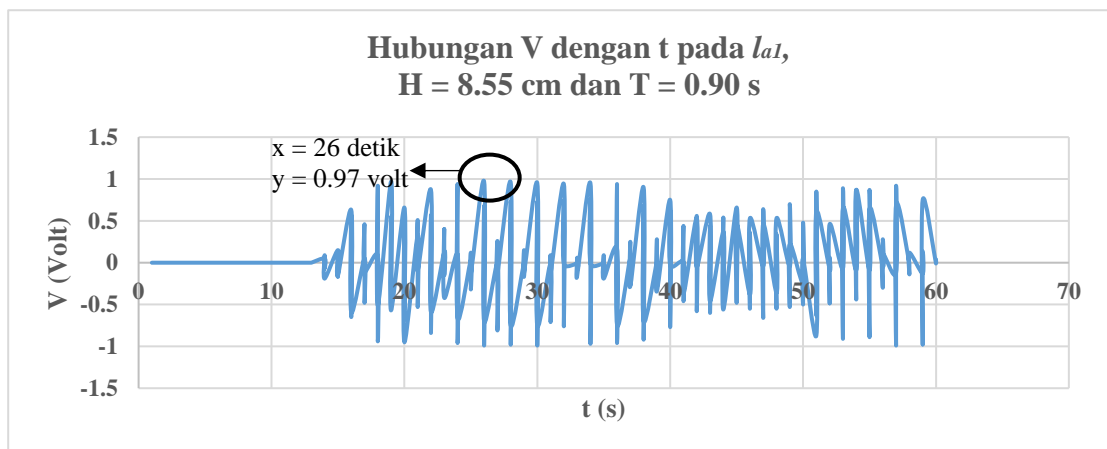
Lampiran B. Grafik Pengolahan Data

1. Performa *Output V* dengan Variasi *Input H/gT²* pada *l_{a1}* (18°)

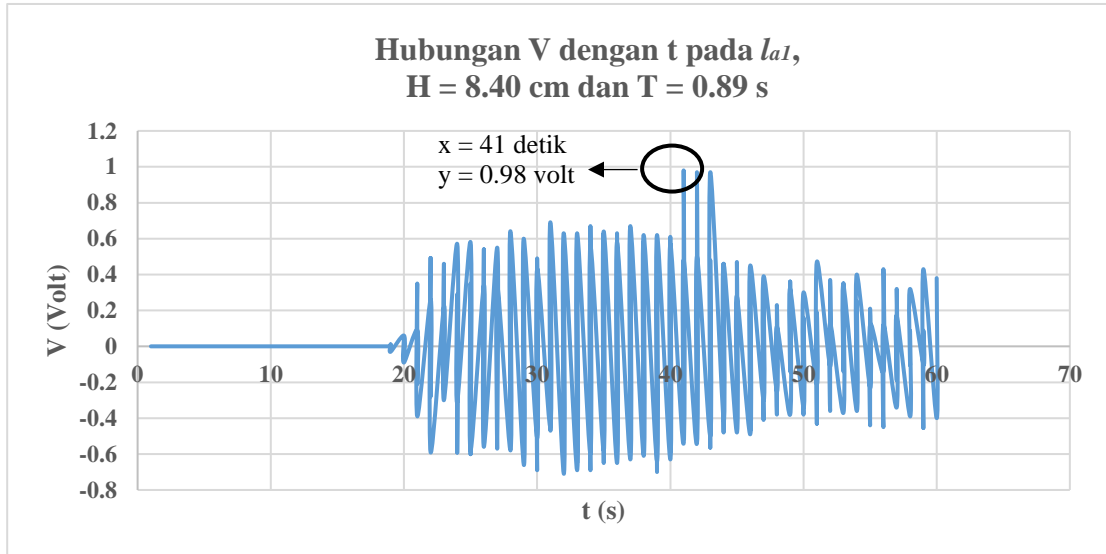
Pada variasi percobaan pertama, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi pertama dengan l_{a1} dan didapatkan *output V* sebanyak 237 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.06 volt pada detik ke-44. Adapun performa variasi pertama dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



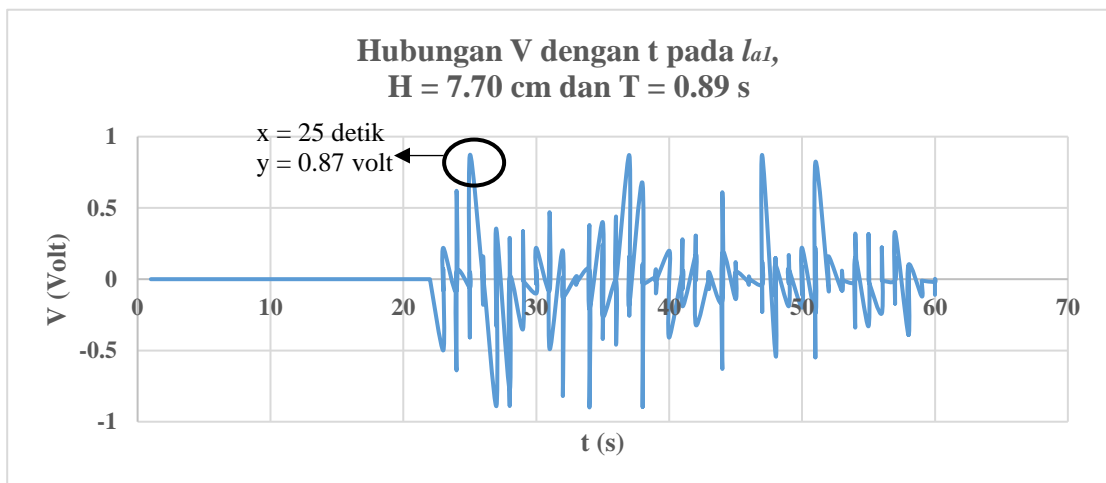
Pada variasi percobaan kedua, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedua dengan l_{a1} dan didapatkan *output V* sebanyak 239 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.97 volt pada detik ke-26. Adapun performa variasi kedua dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



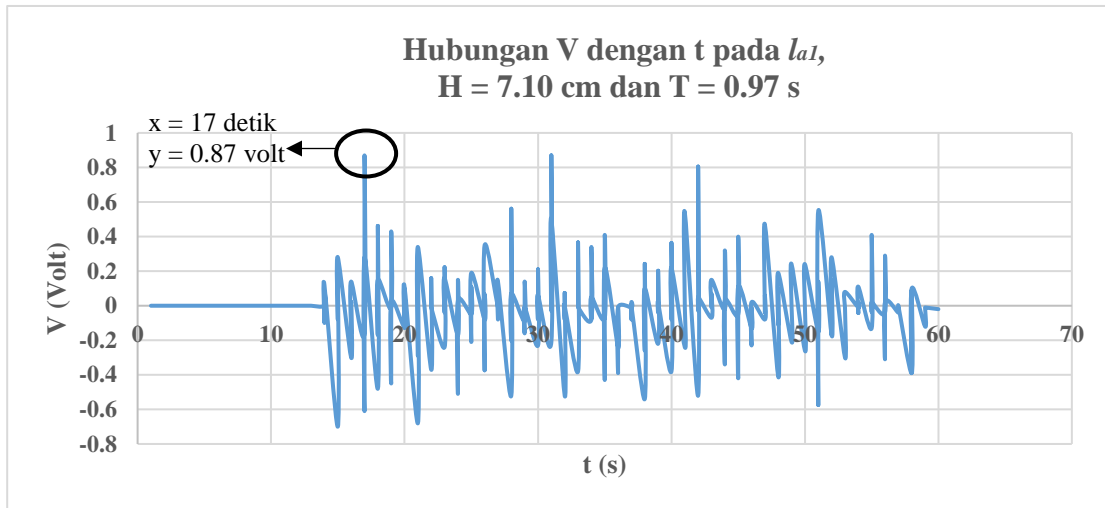
Pada variasi percobaan ketiga, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketiga dengan l_{a1} dan didapatkan *output* V sebanyak 239 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.98 volt pada detik ke-41. Adapun performa variasi ketiga dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



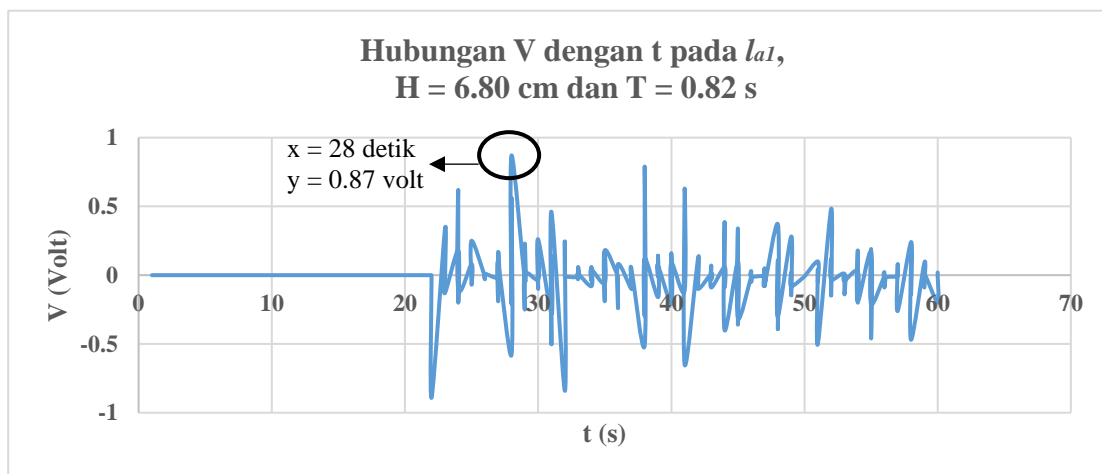
Pada variasi percobaan keempat, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keempat dengan l_{a1} dan didapatkan *output* V sebanyak 238 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.87 volt pada detik ke-25. Adapun performa variasi keempat dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



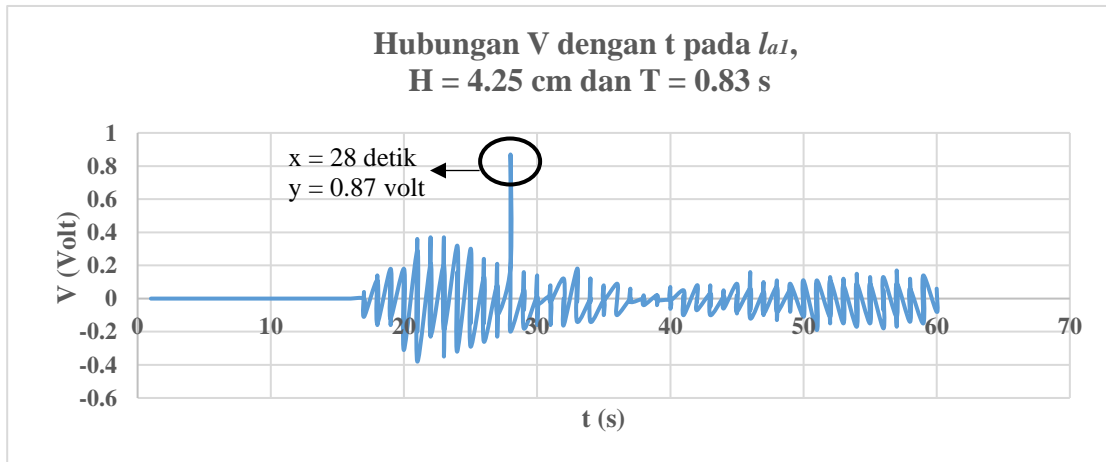
Pada variasi percobaan kelima, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kelima dengan l_{a1} dan didapatkan *output* V sebanyak 235 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.87 volt pada detik ke-17. Adapun performa variasi kelima dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



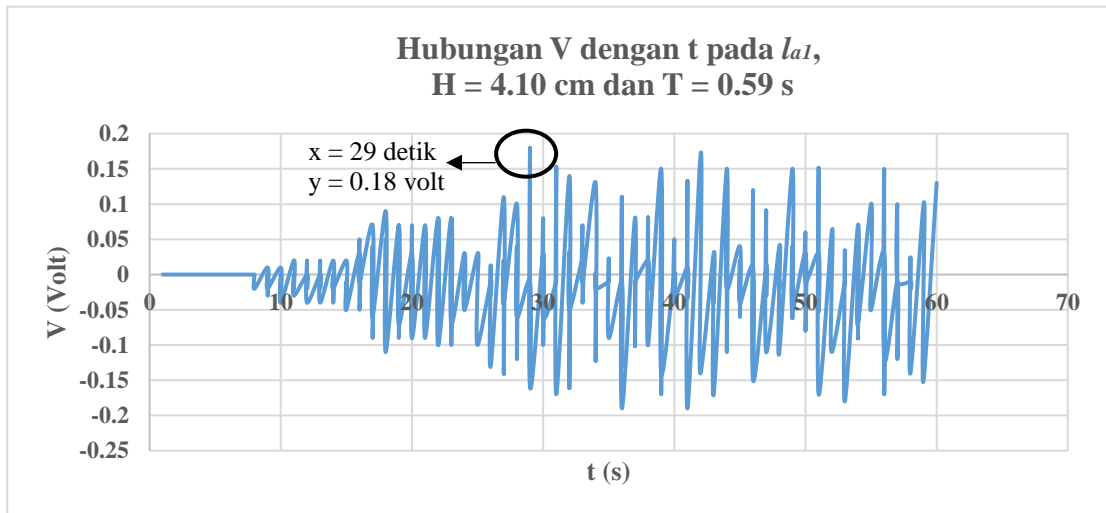
Pada variasi percobaan keenam, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keenam dengan l_{a1} dan didapatkan *output* V sebanyak 236 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.97 volt pada detik ke-28. Adapun performa variasi keenam dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



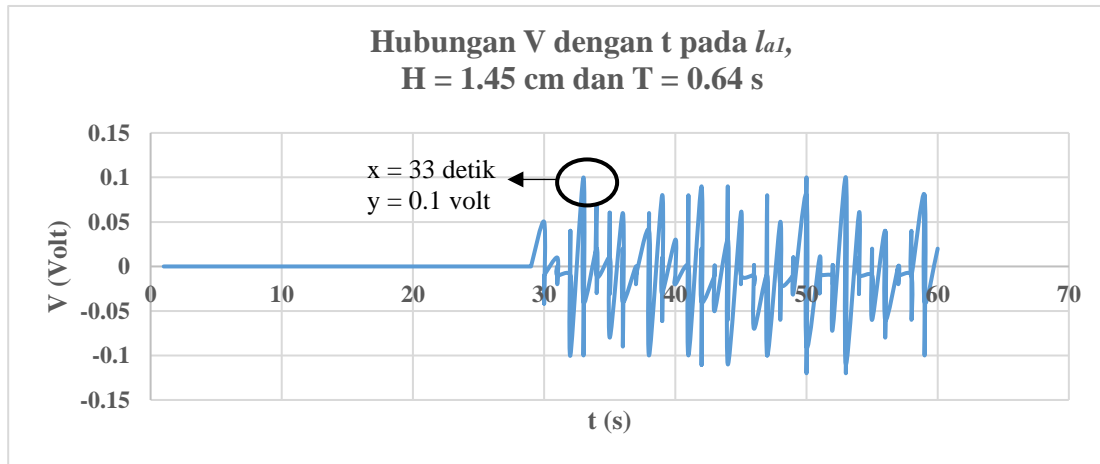
Pada variasi percobaan ketujuh, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketujuh dengan l_{a1} dan didapatkan *output* V sebanyak 239 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.87 volt pada detik ke-28. Adapun performa variasi ketujuh dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Pada variasi percobaan kedelapan, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedelapan dengan l_{a1} dan didapatkan *output* V sebanyak 240 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.18 volt pada detik ke-29. Adapun performa variasi kedelapan dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

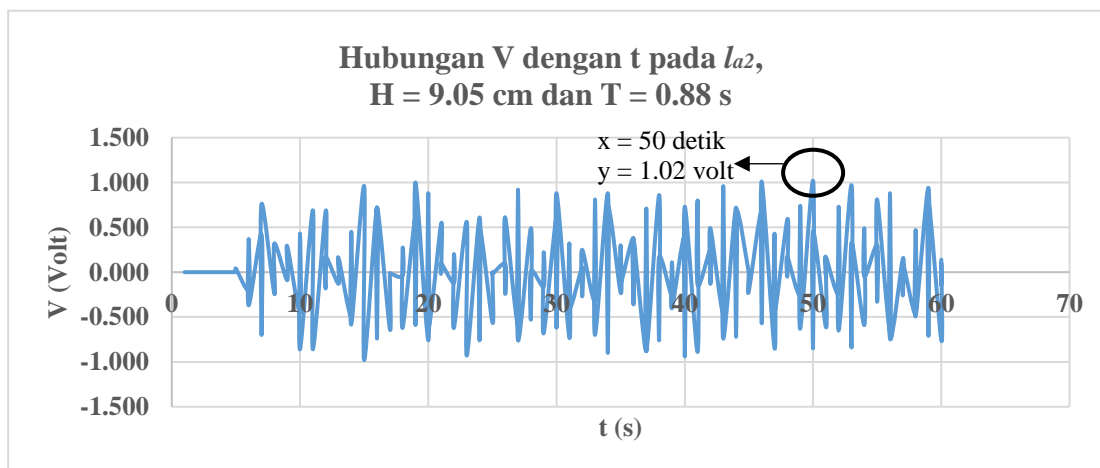


Pada variasi percobaan kesembilan, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesembilan dengan l_{a1} dan didapatkan *output* V sebanyak 240 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.1 volt pada detik ke-33. Adapun performa variasi kesembilan dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

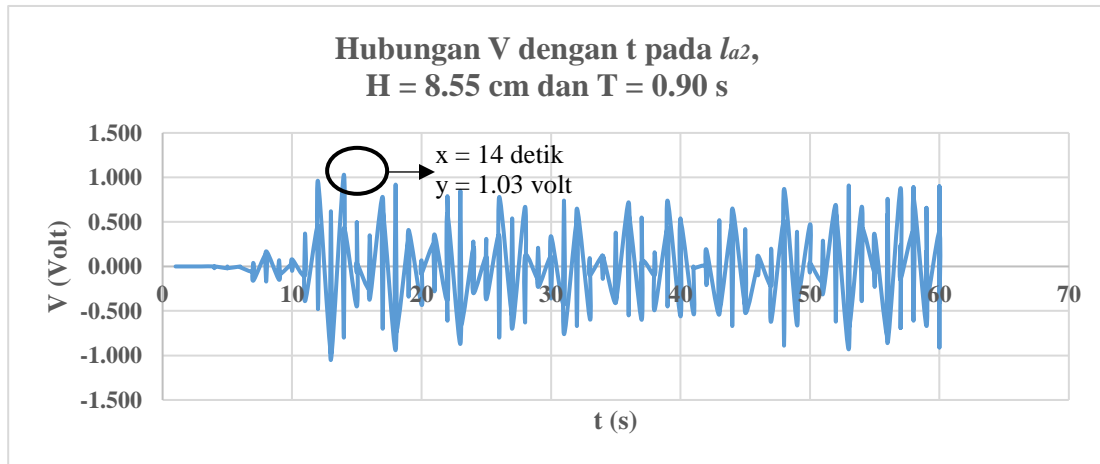


2. Performa *Output* V dengan Variasi *Input* H/gT^2 pada l_{a2} (19°)

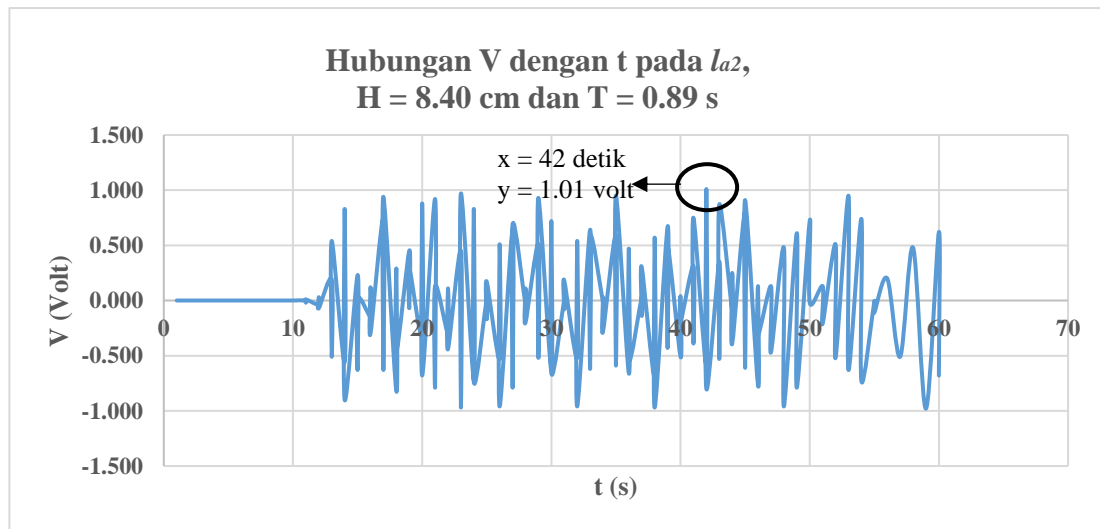
Pada variasi percobaan ke-13, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi pertama dengan l_{a2} dan didapatkan *output* V sebanyak 176 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.02 volt pada detik ke-50. Adapun performa variasi ke-13 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



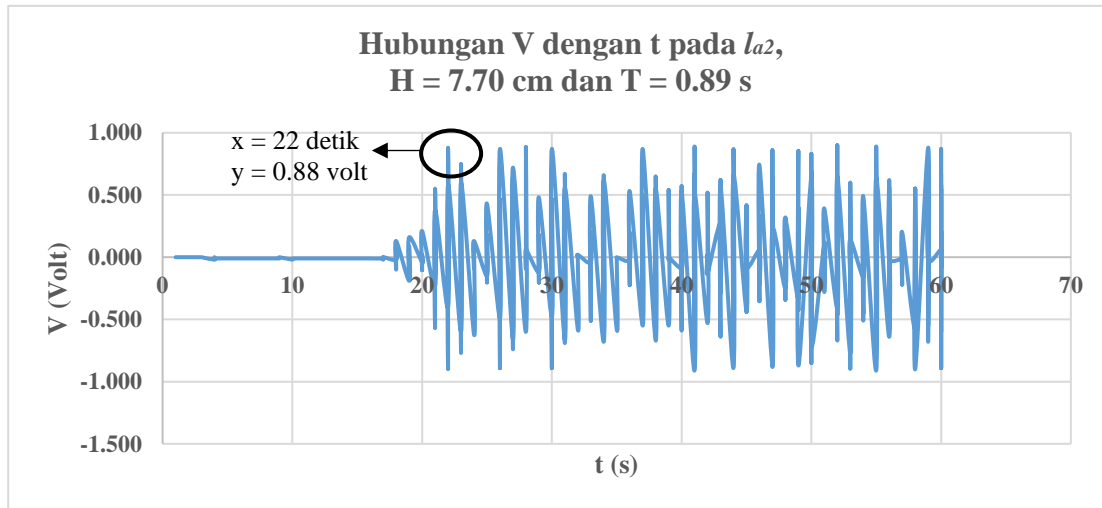
Pada variasi percobaan ke-14, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedua dengan l_{a2} dan didapatkan *output* V sebanyak 205 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.03 volt pada detik ke-14. Adapun performa variasi ke-14 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



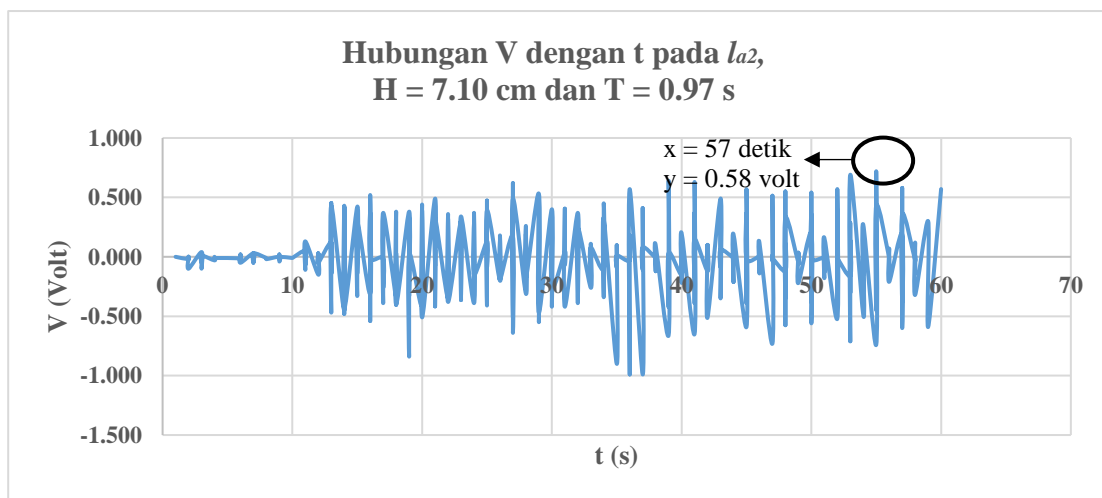
Pada variasi percobaan ke-15, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketiga dengan l_{a2} dan didapatkan *output* V sebanyak 162 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.01 volt pada detik ke-42. Adapun performa variasi ke-15 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



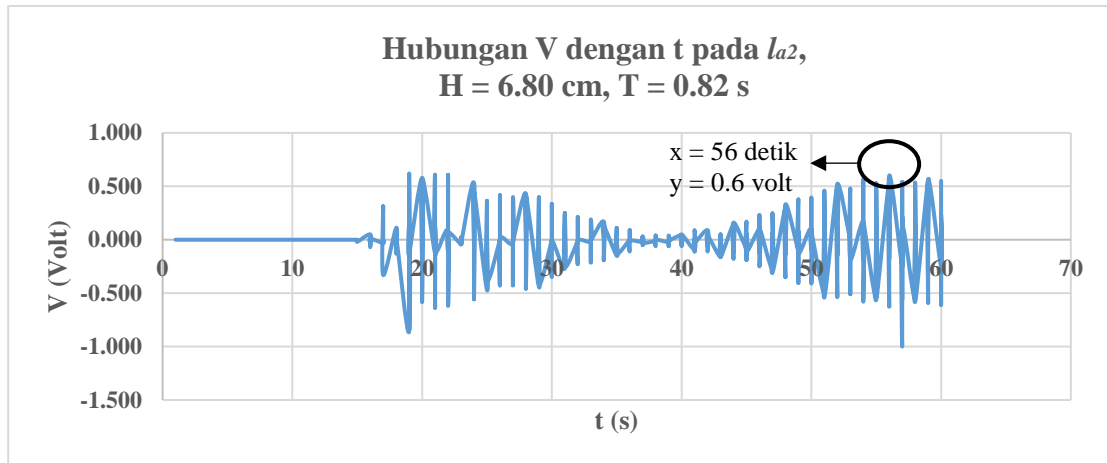
Pada variasi percobaan ke-16, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keempat dengan l_{a2} dan didapatkan *output* V sebanyak 274 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.88 volt pada detik ke-22. Adapun performa variasi ke-16 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



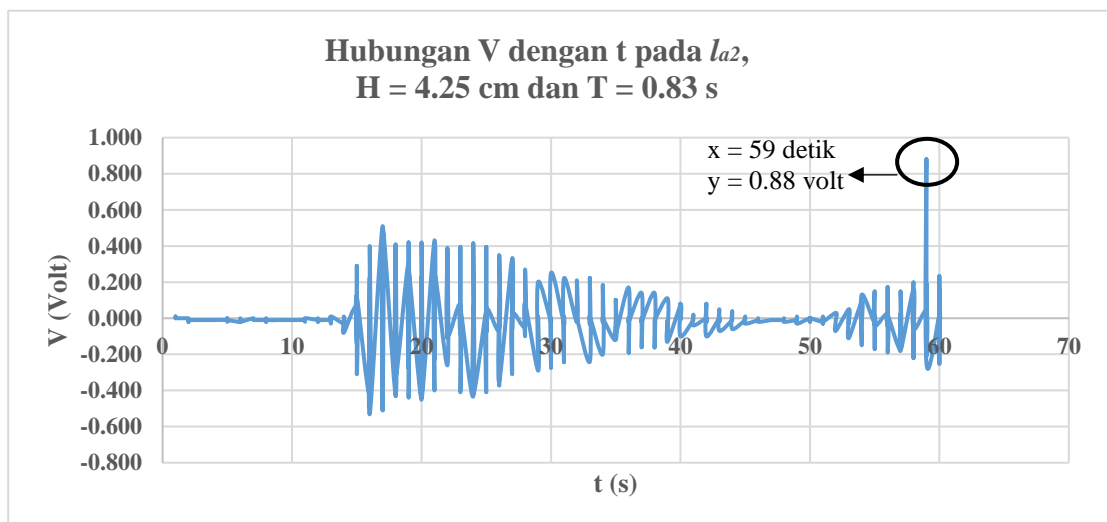
Pada variasi percobaan ke-17, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kelima dengan l_{a2} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.58 volt pada detik ke-57. Adapun performa variasi ke-17 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



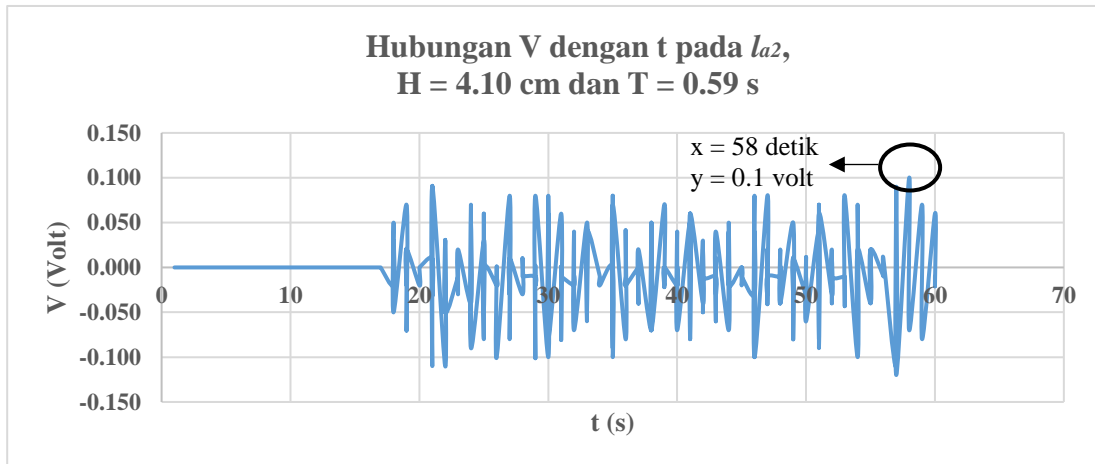
Pada variasi percobaan ke-18, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keenam dengan l_{a2} dan didapatkan *output* V sebanyak 302 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.6 volt pada detik ke-56. Adapun performa variasi ke-18 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



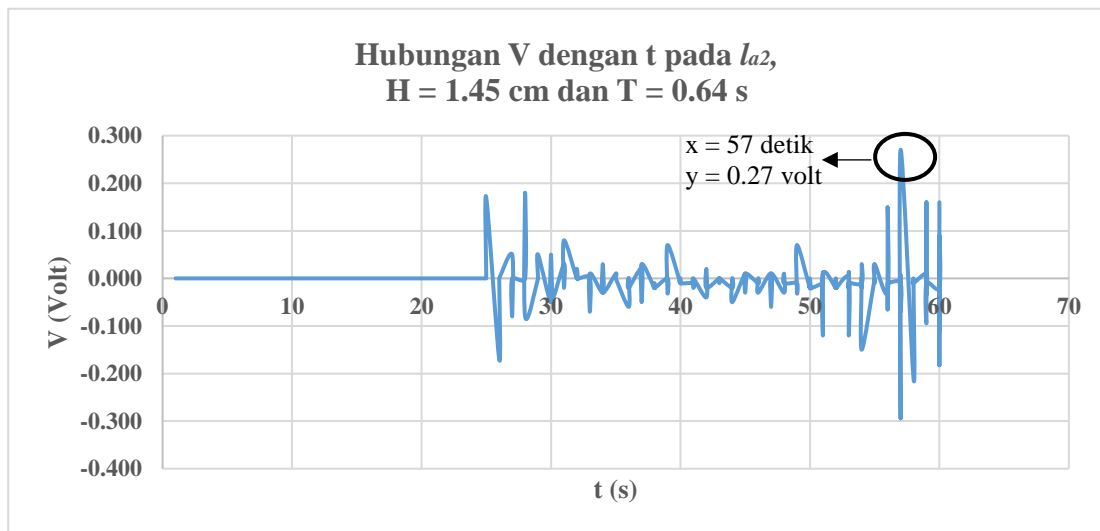
Pada variasi percobaan ke-19, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketujuh dengan l_{a2} dan didapatkan *output* V sebanyak 282 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.88 volt pada detik ke-59. Adapun performa variasi ke-19 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Pada variasi percobaan ke-20, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedelapan dengan l_{a2} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.1 volt pada detik ke-58. Adapun performa variasi ke-20 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

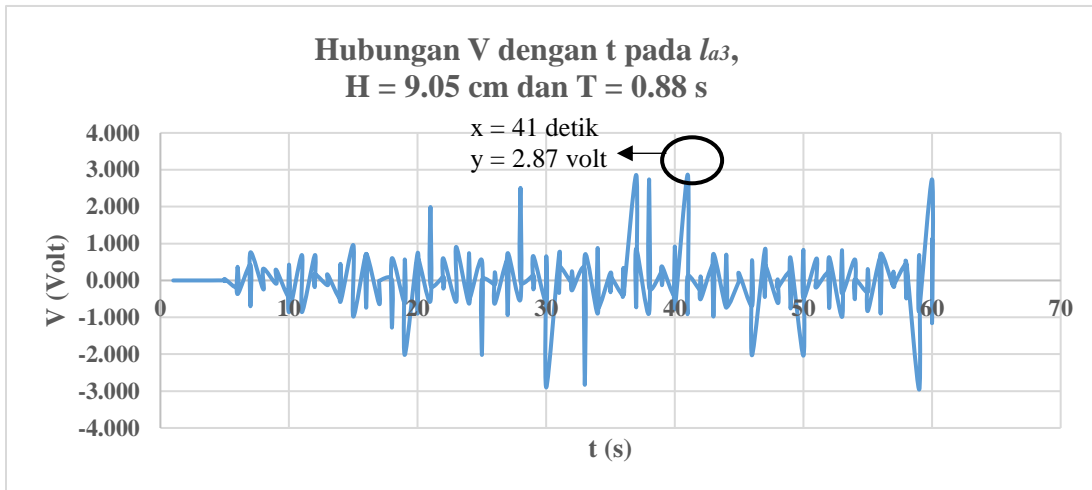


Pada variasi percobaan ke-21, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesembilan dengan l_{a2} dan didapatkan *output* V sebanyak 201 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.27 volt pada detik ke-57. Adapun performa variasi ke-21 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

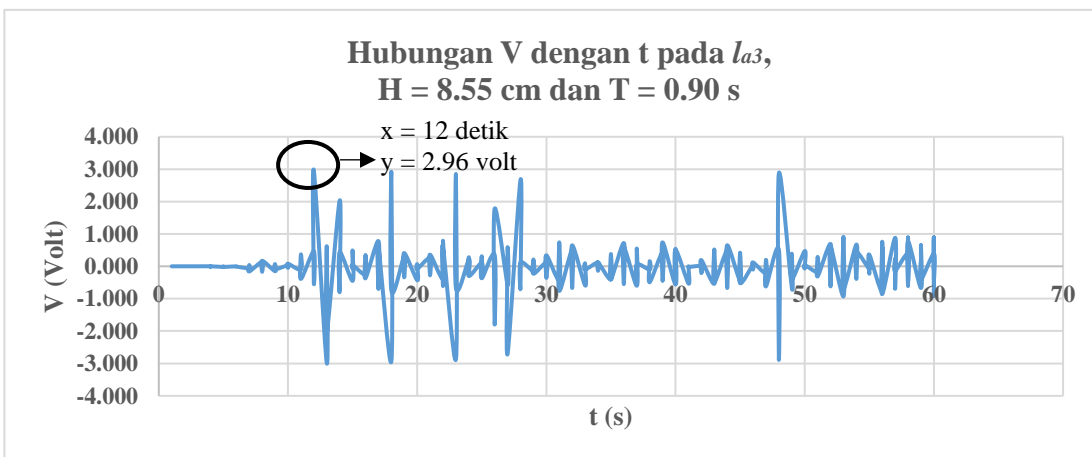


3. Performa *Output V* dengan Variasi *Input H/gT^2* pada l_{a3} (20°)

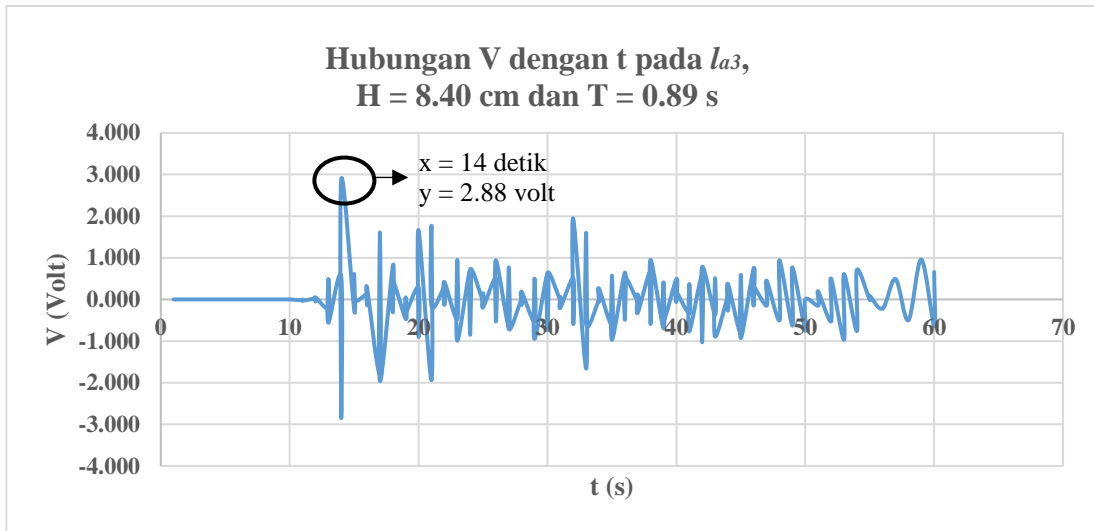
Pada variasi percobaan ke-25, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi pertama dengan l_{a3} dan didapatkan *output V* sebanyak 176 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 2.87 volt pada detik ke-41. Adapun performa variasi ke-25 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



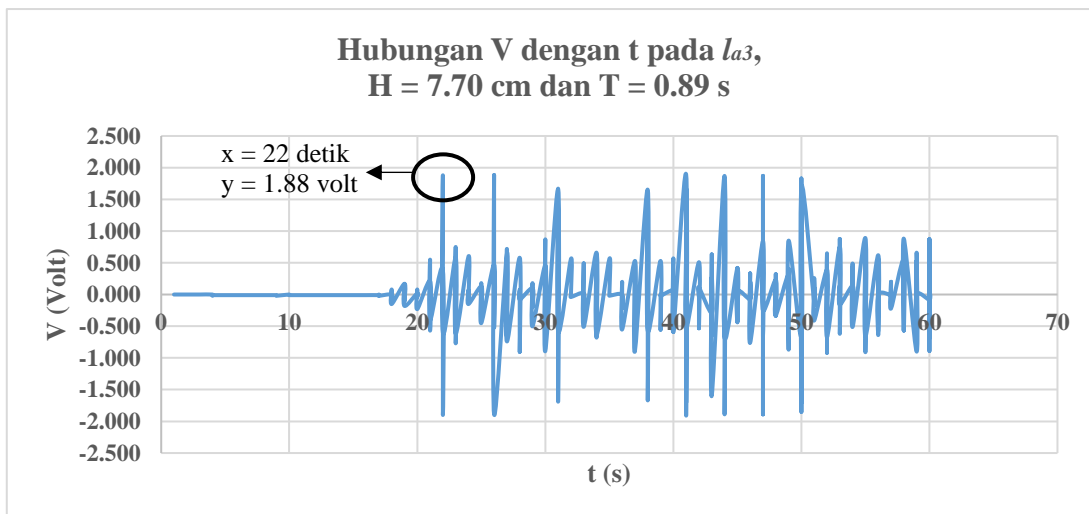
Pada variasi percobaan ke-26, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedua dengan l_{a3} dan didapatkan *output V* sebanyak 205 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 2.96 volt pada detik ke-12. Adapun performa variasi ke-26 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



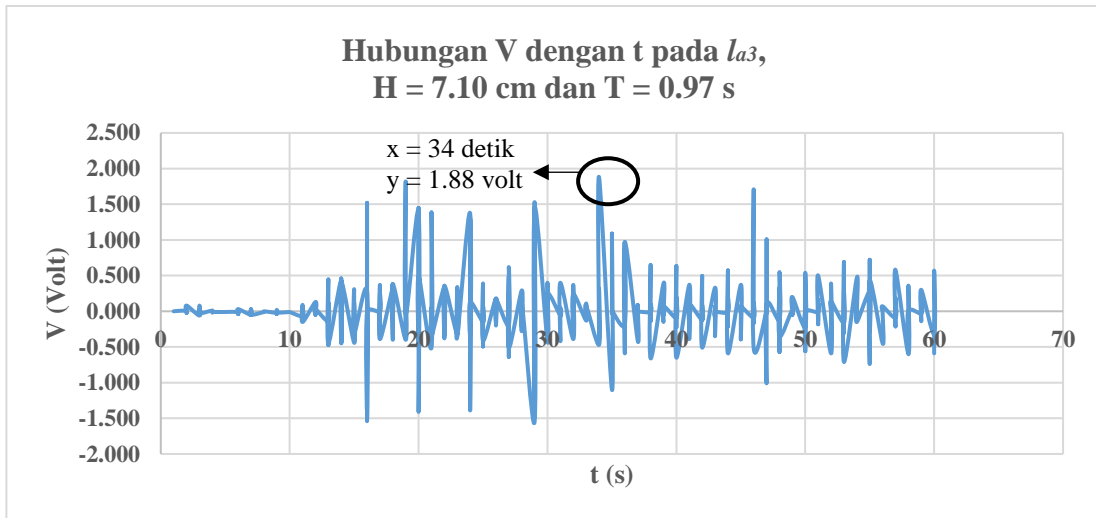
Pada variasi percobaan ke-27, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketiga dengan l_{a3} dan didapatkan *output* V sebanyak 162 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 2.88 volt pada detik ke-14. Adapun performa variasi ke-27 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



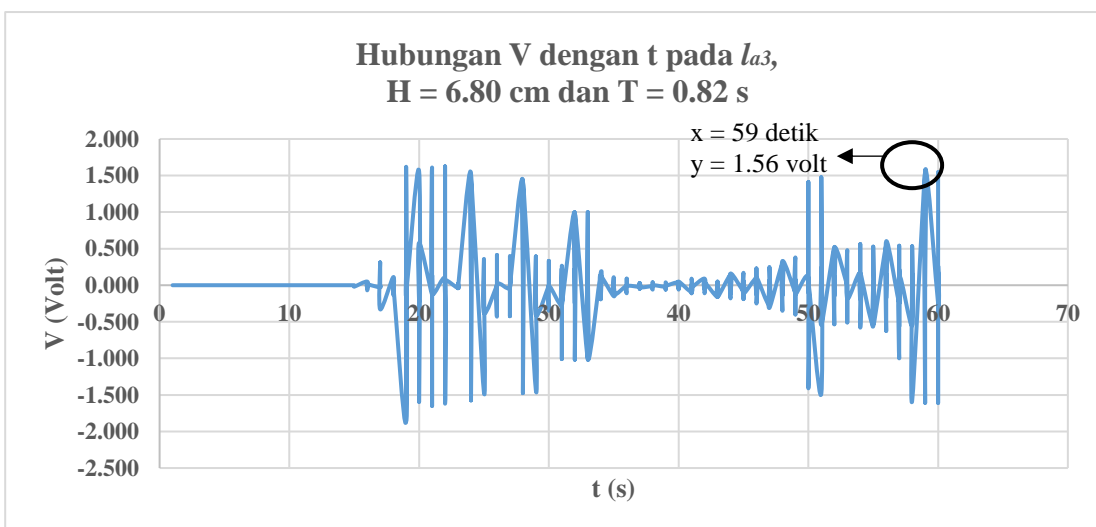
Pada variasi percobaan ke-28, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keempat dengan l_{a3} dan didapatkan *output* V sebanyak 274 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.88 volt pada detik ke-22. Adapun performa variasi ke-28 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



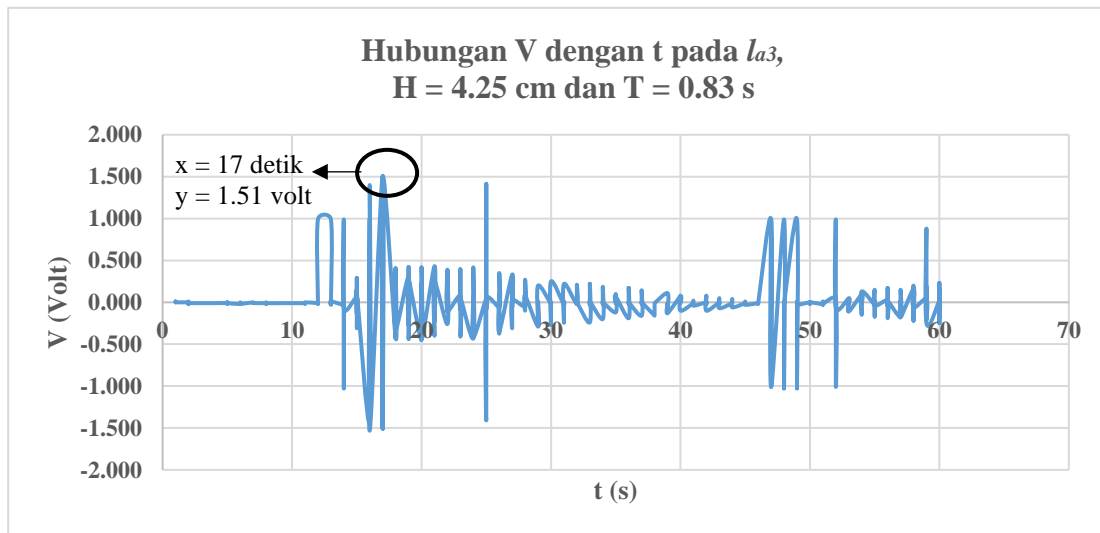
Pada variasi percobaan ke-29, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kelima dengan l_{a3} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.88 volt pada detik ke-34. Adapun performa variasi ke-29 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



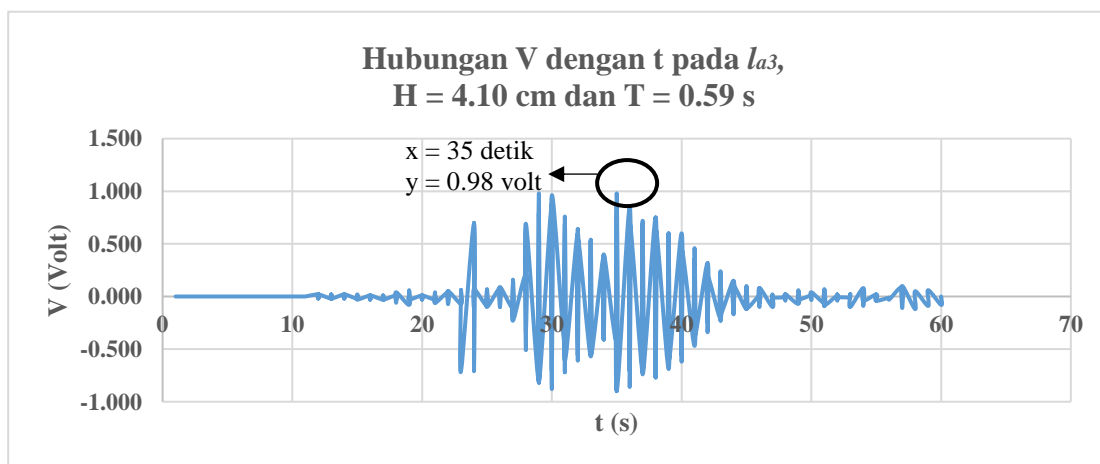
Pada variasi percobaan ke-30, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keenam dengan l_{a3} dan didapatkan *output* V sebanyak 302 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.56 volt pada detik ke-59. Adapun performa variasi ke-30 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



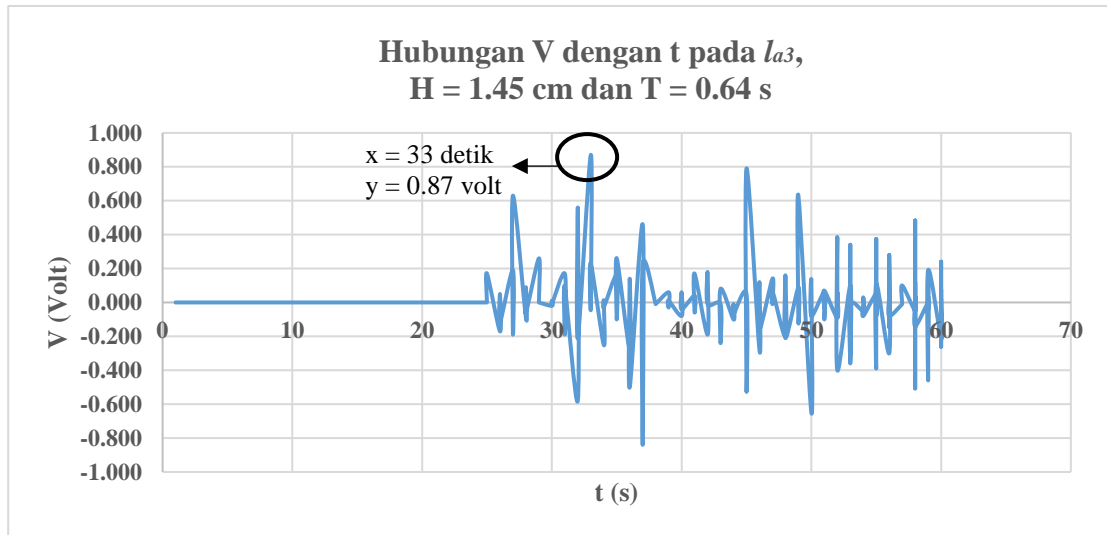
Pada variasi percobaan ke-31, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketujuh dengan l_{a3} dan didapatkan *output* V sebanyak 282 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.51 volt pada detik ke-17. Adapun performa variasi ke-31 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



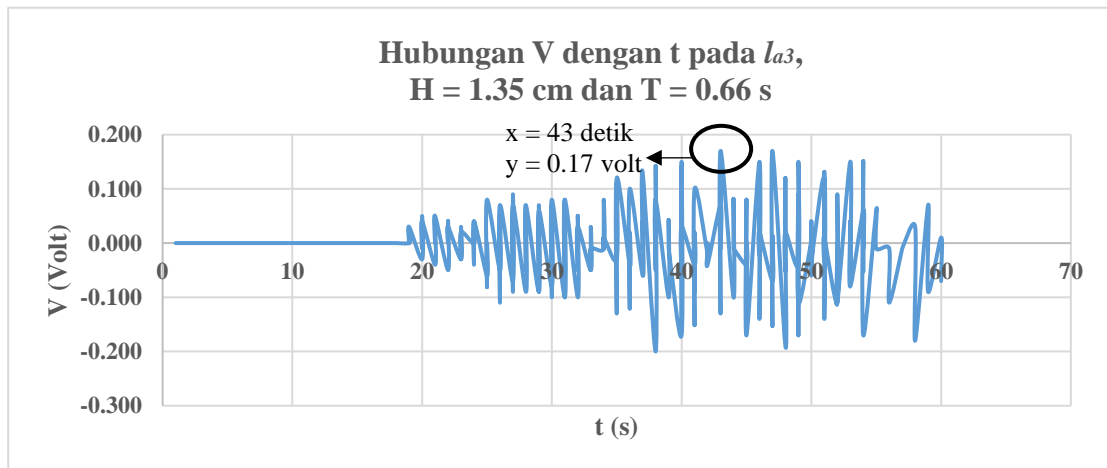
Pada variasi percobaan ke-32, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedelapan dengan l_{a3} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.98 volt pada detik ke-35. Adapun performa variasi ke-32 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



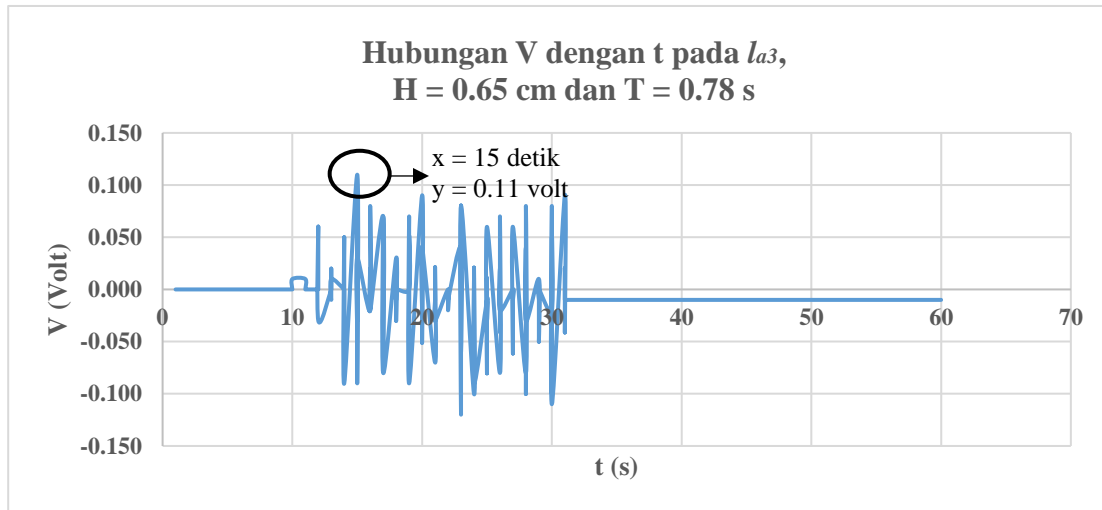
Pada variasi percobaan ke-33, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesembilan dengan l_{a3} dan didapatkan *output* V sebanyak 214 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.87 volt pada detik ke-33. Adapun performa variasi ke-33 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Pada variasi percobaan ke-34, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesepuluh dengan l_{a3} dan didapatkan *output* V sebanyak 250 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.17 volt pada detik ke-43. Adapun performa variasi ke-34 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

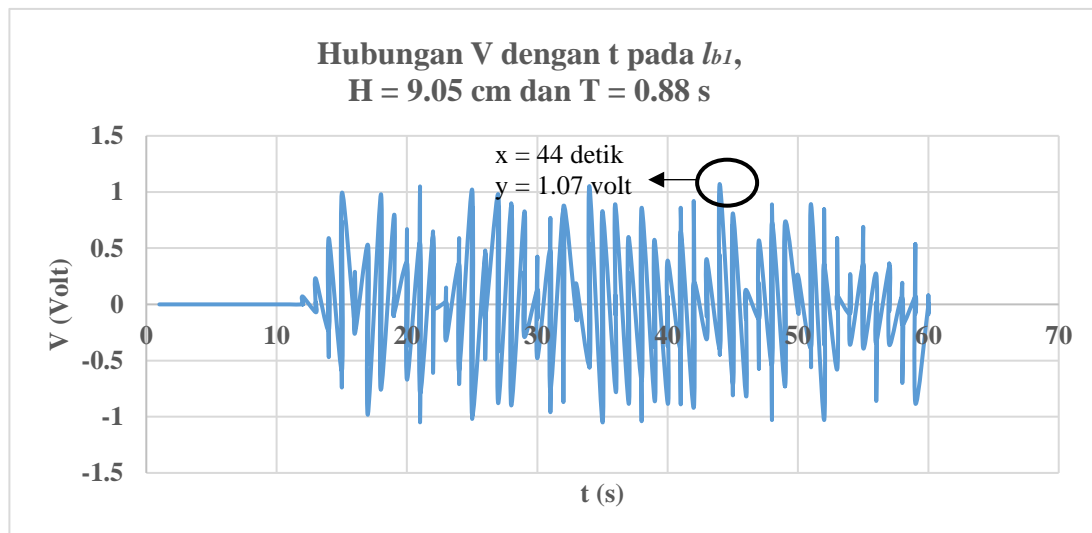


Pada variasi percobaan ke-35, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesebelas dengan l_{a3} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.11 volt pada detik ke-15. Adapun performa variasi ke-35 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

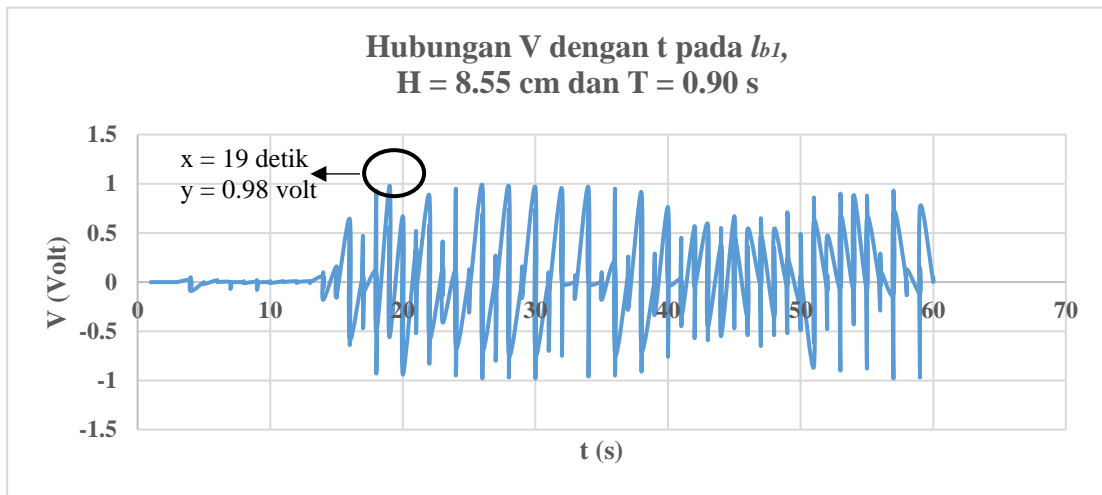


4. Performa *Output* V dengan Variasi *Input* H/gT^2 pada l_{b1} (67°)

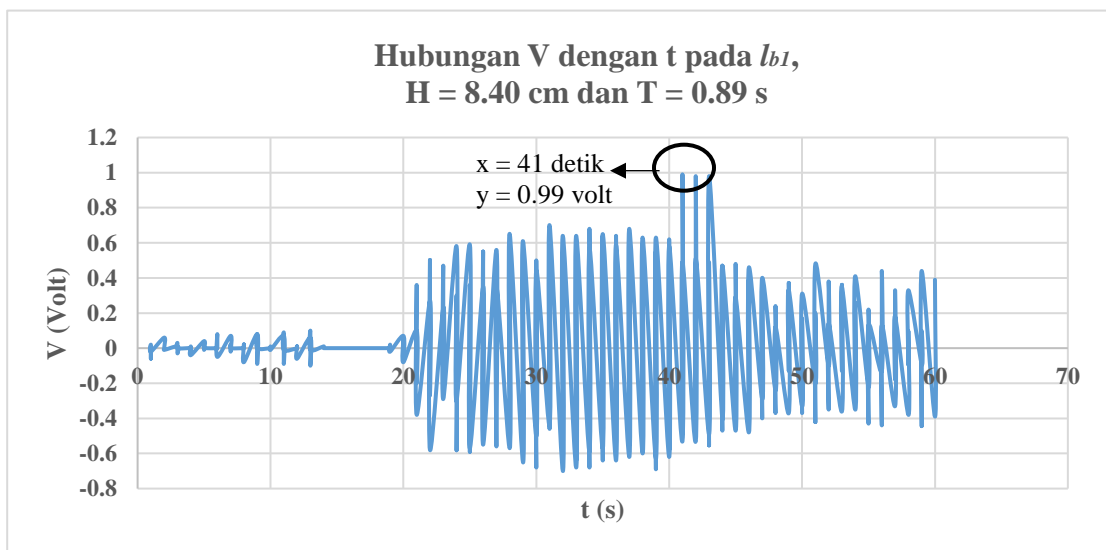
Pada variasi percobaan ke-37, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi pertama dengan l_{b1} dan didapatkan *output* V sebanyak 237 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.07 volt pada detik ke-44. Adapun performa variasi ke-37 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



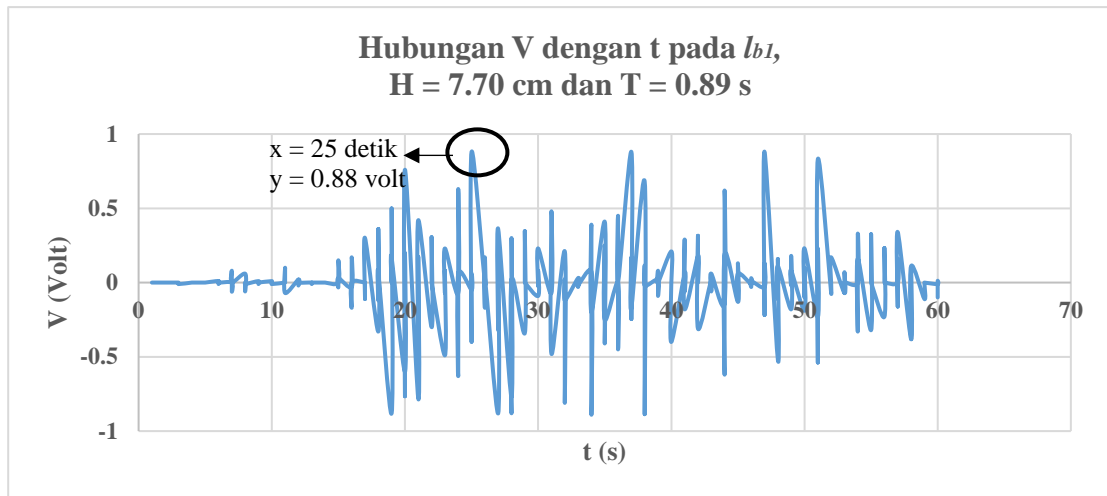
Pada variasi percobaan ke-38, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedua dengan l_{b1} dan didapatkan *output* V sebanyak 239 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.98 volt pada detik ke-19. Adapun performa variasi ke-38 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



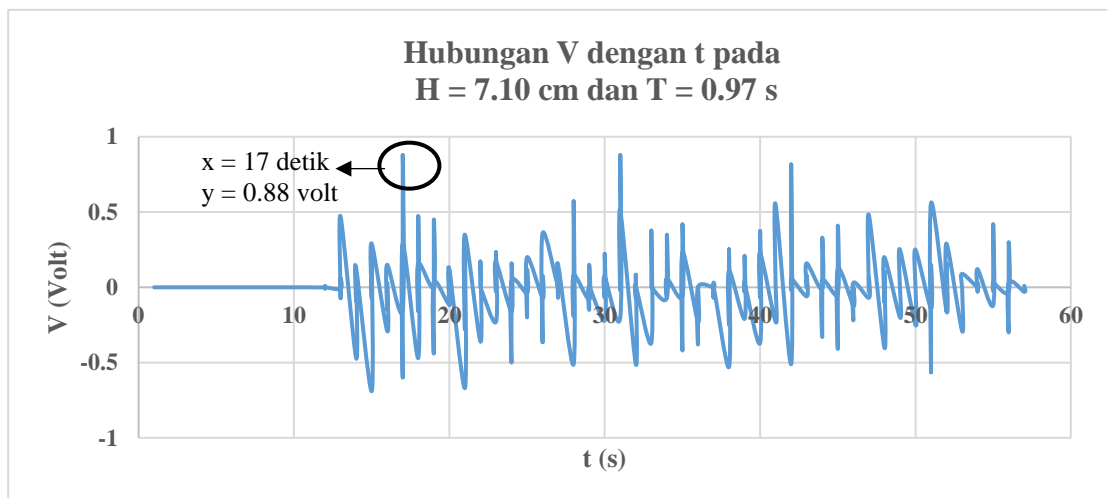
Pada variasi percobaan ke-39, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketiga dengan l_{b1} dan didapatkan *output* V sebanyak 239 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.99 volt pada detik ke-41. Adapun performa variasi ke-39 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



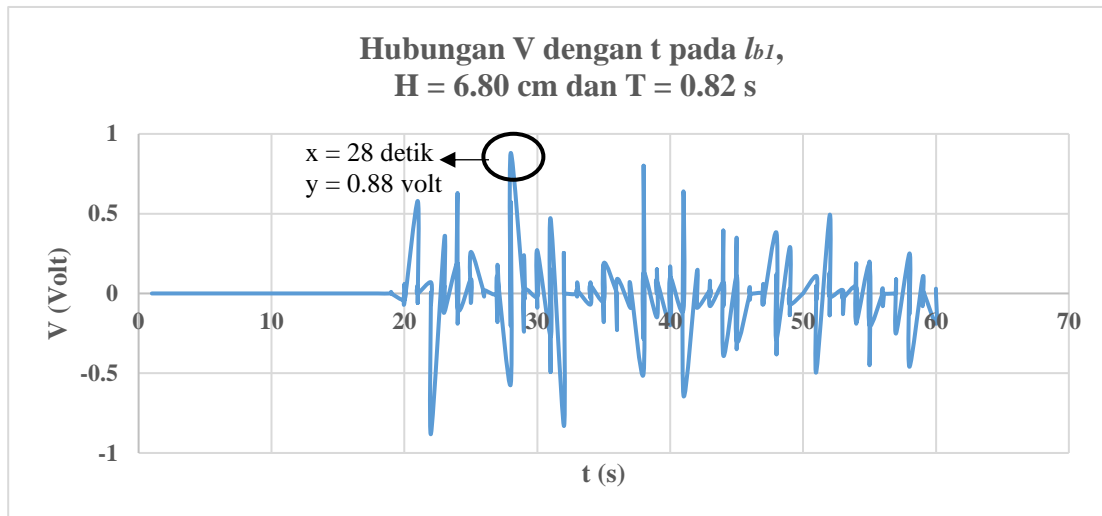
Pada variasi percobaan ke-40, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keempat dengan l_{b1} dan didapatkan *output* V sebanyak 238 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.88 volt pada detik ke-25. Adapun performa variasi ke-40 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



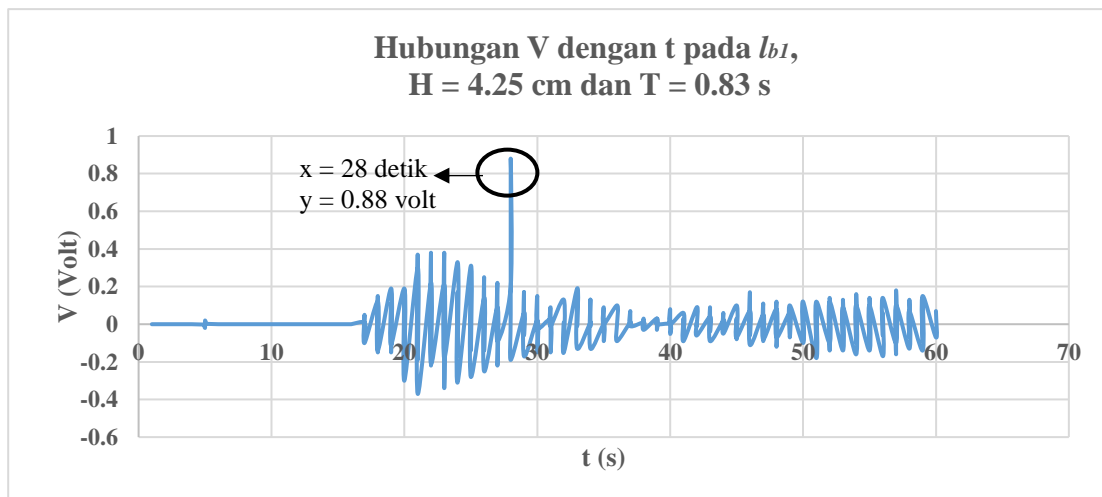
Pada variasi percobaan ke-41, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kelima dengan l_{b1} dan didapatkan *output* V sebanyak 226 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.88 volt pada detik ke-17. Adapun performa variasi ke-41 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



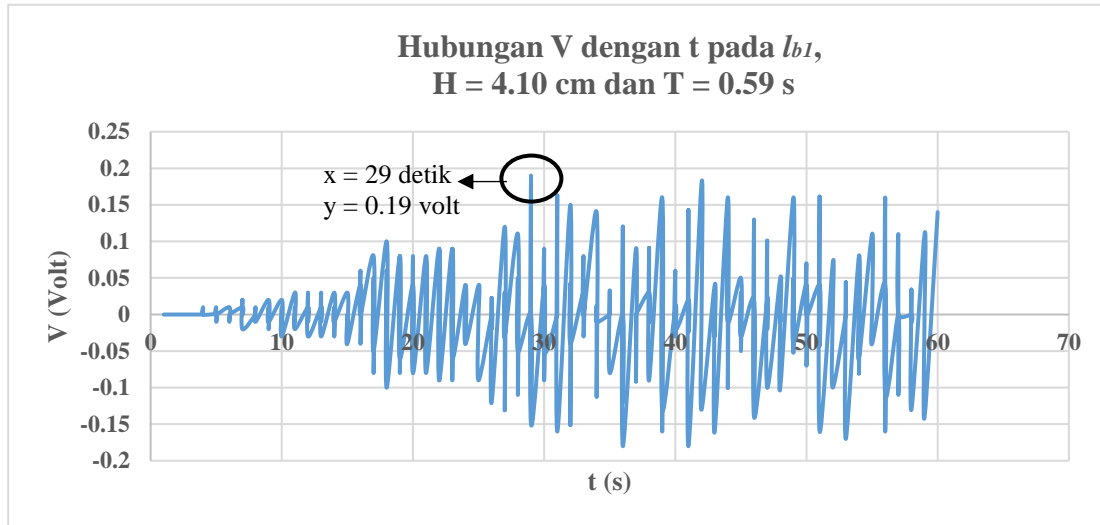
Pada variasi percobaan ke-42, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keenam dengan l_{b1} dan didapatkan *output* V sebanyak 236 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.88 volt pada detik ke-28. Adapun performa variasi ke-42 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



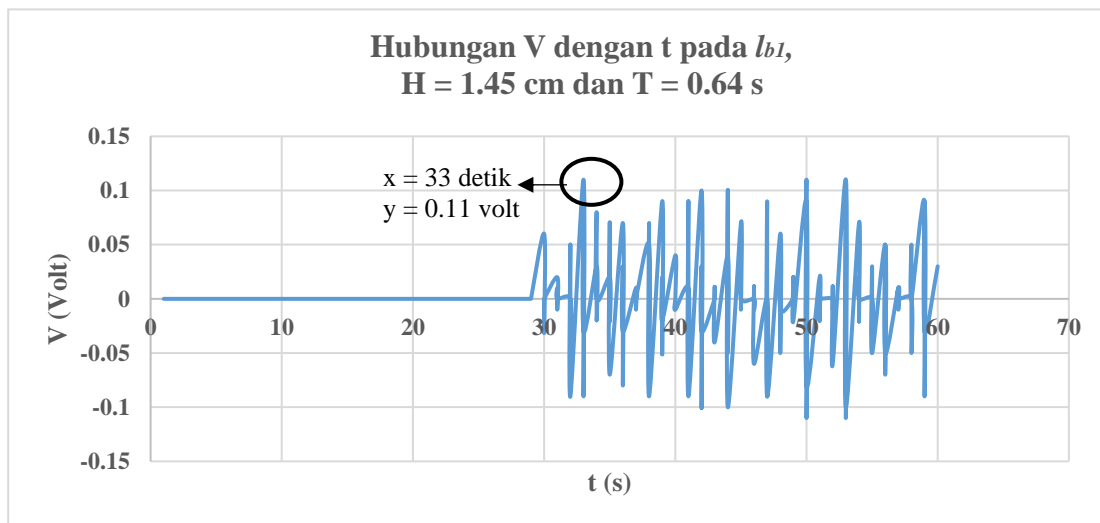
Pada variasi percobaan ke-43, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketujuh dengan l_{b1} dan didapatkan *output* V sebanyak 239 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.88 volt pada detik ke-28. Adapun performa variasi ke-43 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



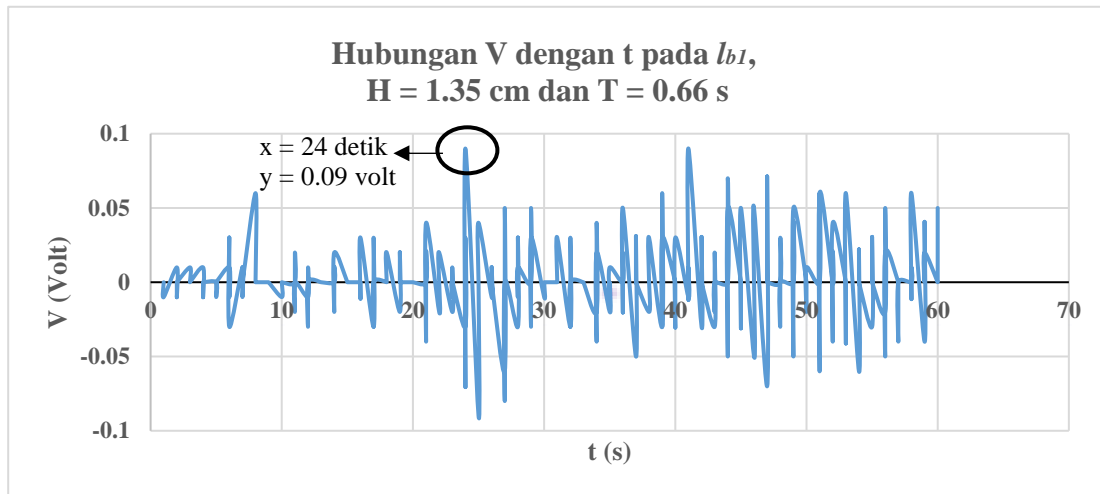
Pada variasi percobaan ke-44, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedelapan dengan l_{b1} dan didapatkan *output* V sebanyak 240 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.19 volt pada detik ke-29. Adapun performa variasi ke-44 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Pada variasi percobaan ke-45, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesembilan dengan l_{b1} dan didapatkan *output* V sebanyak 240 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.11 volt pada detik ke-33. Adapun performa variasi ke-45 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

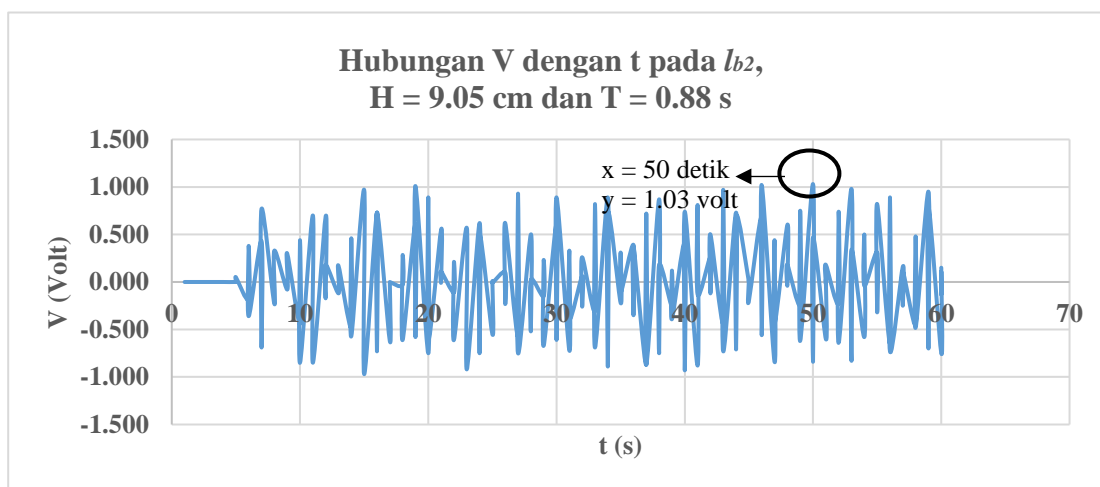


Pada variasi percobaan ke-46, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesepuluh dengan l_{b1} dan didapatkan *output* V sebanyak 240 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.09 volt pada detik ke-24. Adapun performa variasi ke-46 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

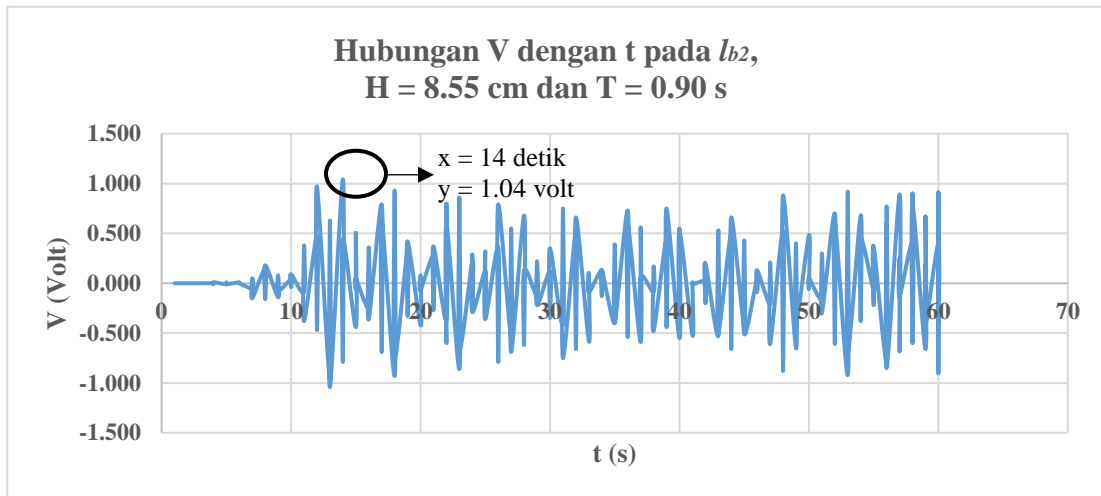


5. Performa *Output* V dengan Variasi *Input* H/gT^2 pada l_{b2} (71°)

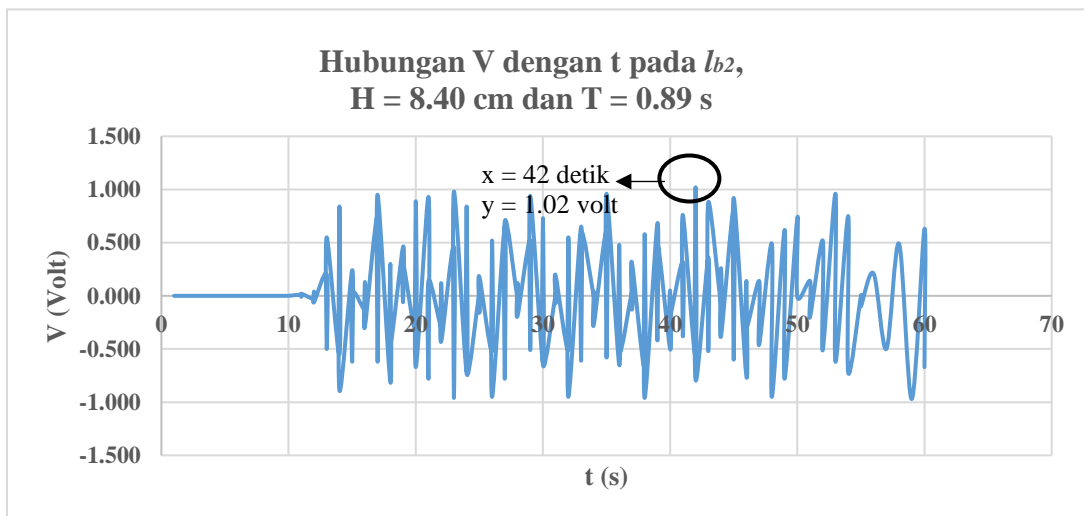
Pada variasi percobaan ke-49, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi pertama dengan l_{b2} dan didapatkan *output* V sebanyak 176 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.03 volt pada detik ke-50. Adapun performa variasi ke-49 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



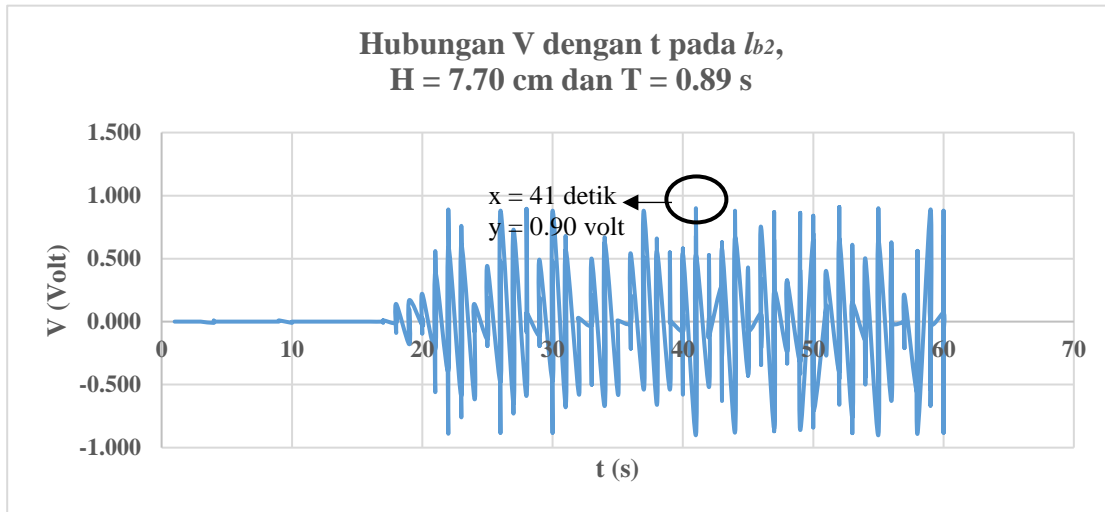
Pada variasi percobaan ke-50, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedua dengan l_{b2} dan didapatkan *output* V sebanyak 205 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.04 volt pada detik ke-14. Adapun performa variasi ke-50 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



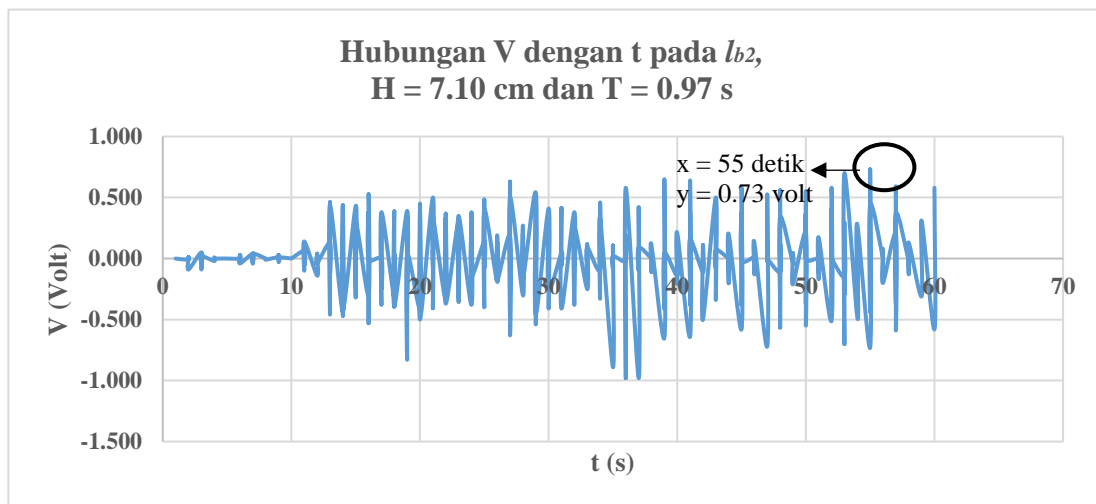
Pada variasi percobaan ke-51, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketiga dengan l_{b2} dan didapatkan *output* V sebanyak 162 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.02 volt pada detik ke-42. Adapun performa variasi ke-51 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



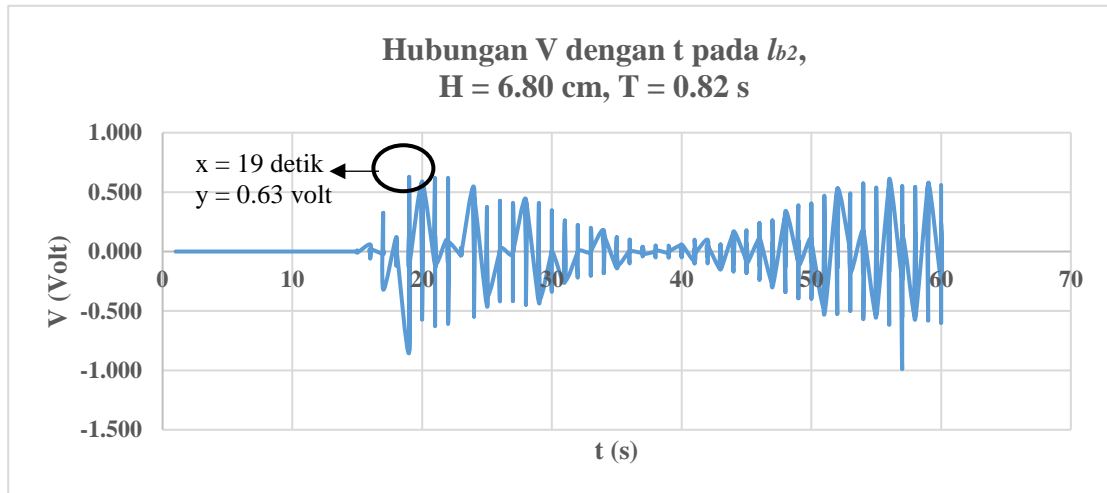
Pada variasi percobaan ke-52, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keempat dengan l_{b2} dan didapatkan *output* V sebanyak 274 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.90 volt pada detik ke-41. Adapun performa variasi ke-52 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



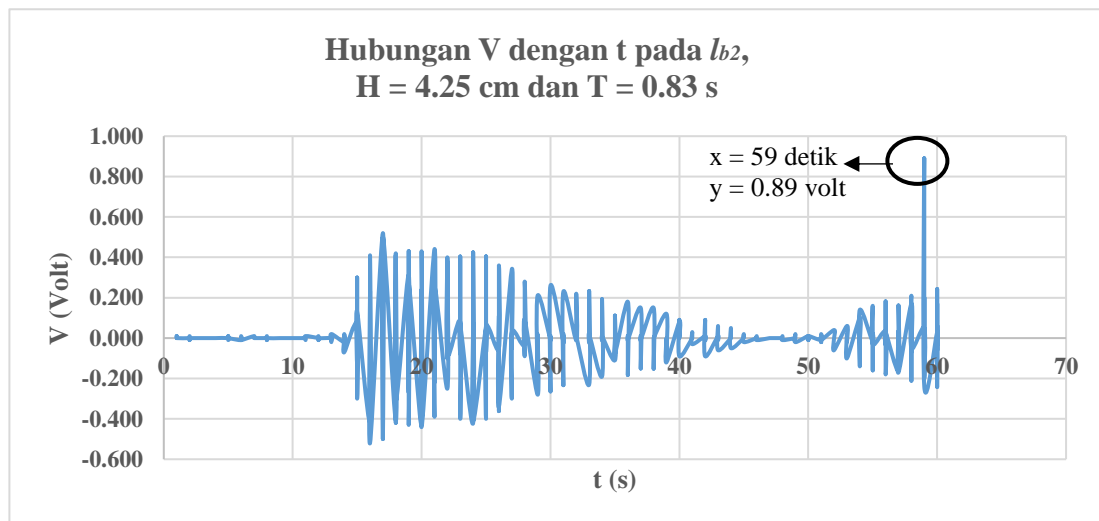
Pada variasi percobaan ke-53, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kelima dengan l_{b2} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.73 volt pada detik ke-55. Adapun performa variasi ke-53 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



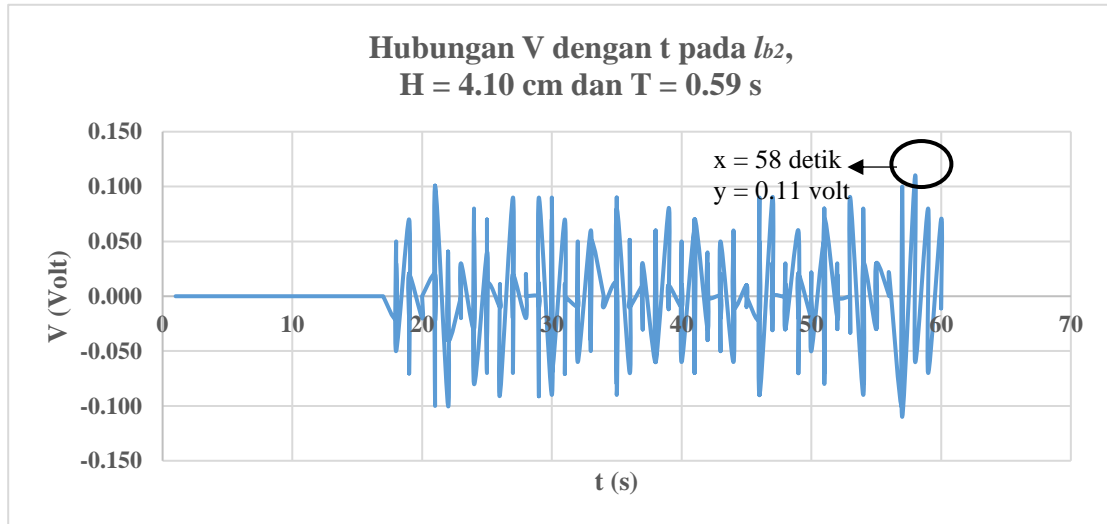
Pada variasi percobaan ke-54, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keenam dengan l_{b2} dan didapatkan *output* V sebanyak 302 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.63 volt pada detik ke-19. Adapun performa variasi ke-54 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



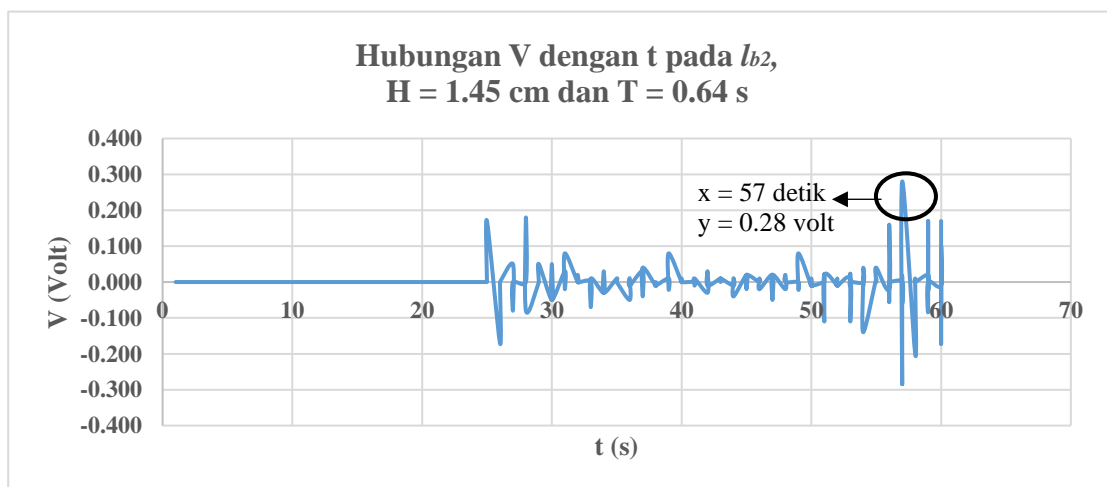
Pada variasi percobaan ke-55, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketujuh dengan l_{b2} dan didapatkan *output* V sebanyak 282 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.89 volt pada detik ke-59. Adapun performa variasi ke-55 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



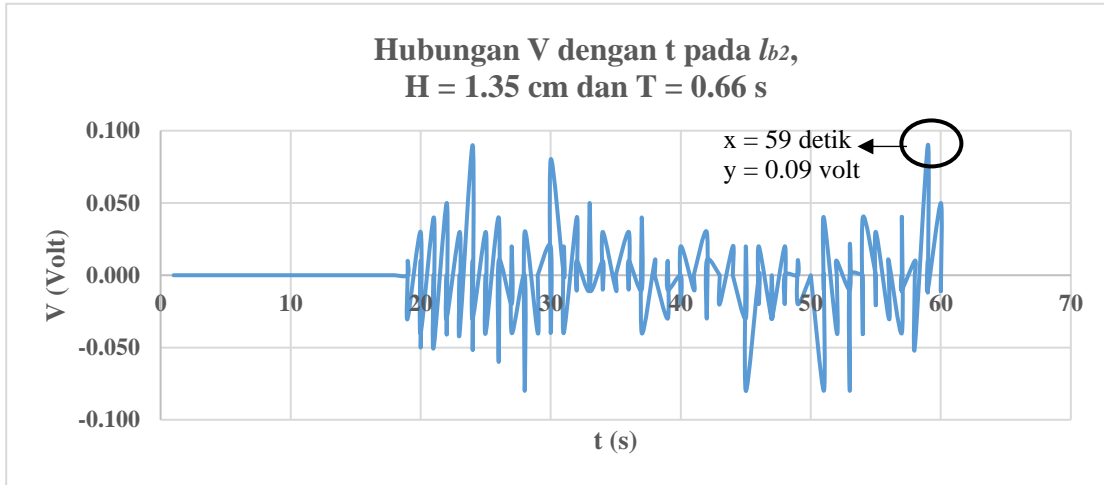
Pada variasi percobaan ke-56, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedelapan dengan l_{b2} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.11 volt pada detik ke-58. Adapun performa variasi ke-56 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



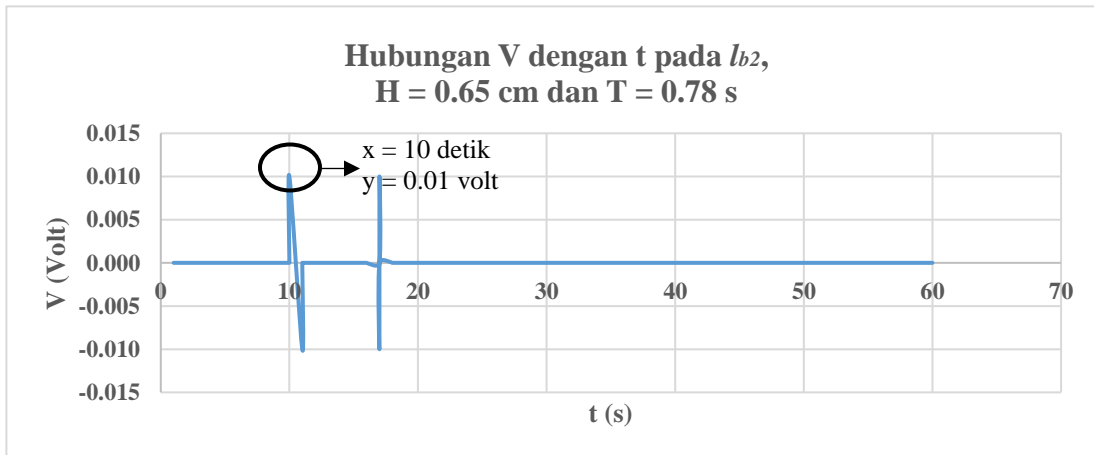
Pada variasi percobaan ke-57, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesembilan dengan l_{b2} dan didapatkan *output* V sebanyak 201 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.28 volt pada detik ke-57. Adapun performa variasi ke-57 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Pada variasi percobaan ke-58, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesepuluh dengan l_{b2} dan didapatkan *output* V sebanyak 216 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.09 volt pada detik ke-59. Adapun performa variasi ke-58 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

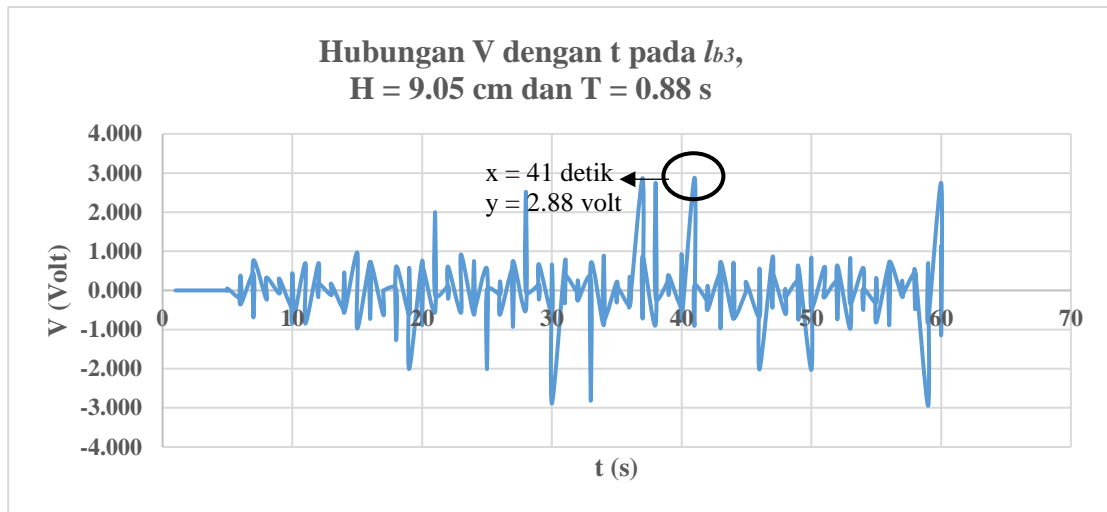


Pada variasi percobaan ke-59, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesebelas dengan l_{b2} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.01 volt pada detik ke-10. Adapun performa variasi ke-59 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:

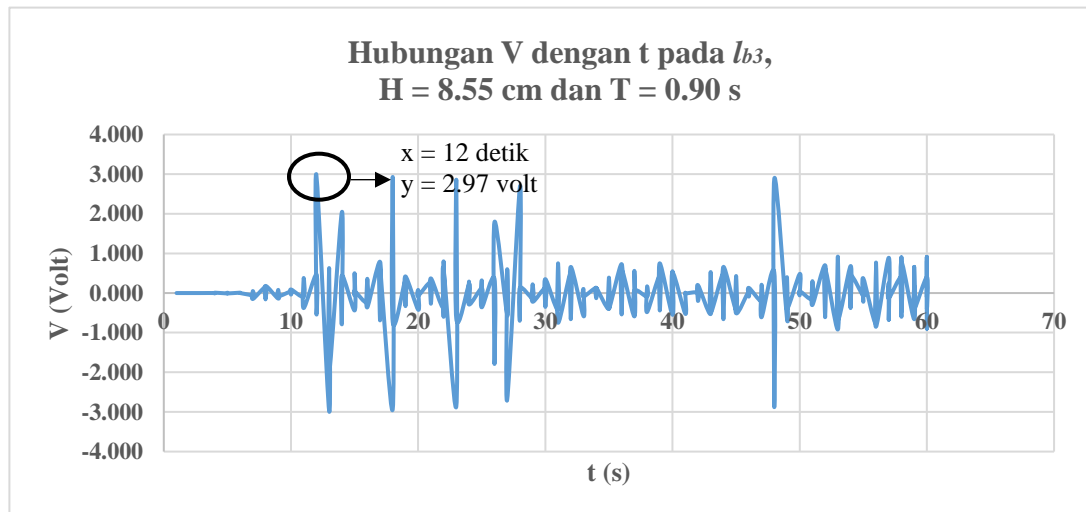


6. Performa *Output V* dengan Variasi *Input H/gT²* pada l_{b3} (88°)

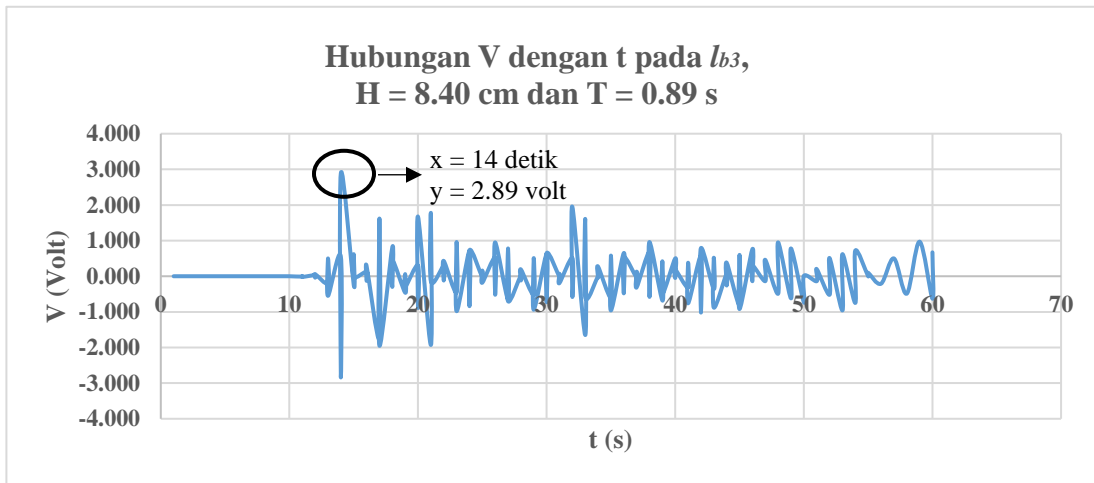
Pada variasi percobaan ke-61, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi pertama dengan l_{b3} dan didapatkan *output V* sebanyak 176 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 2.88 volt pada detik ke-41. Adapun performa variasi ke-61 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



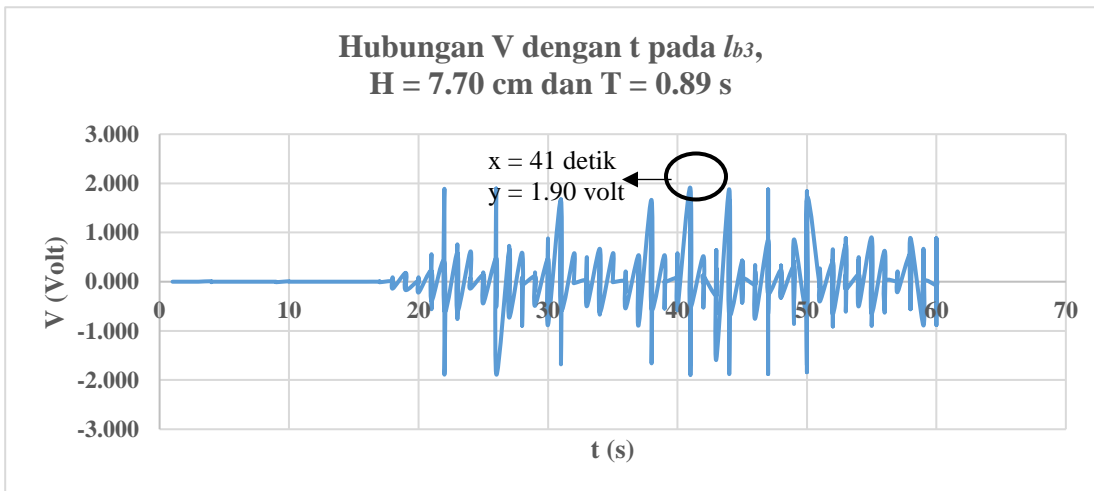
Pada variasi percobaan ke-62, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedua dengan l_{b3} dan didapatkan *output V* sebanyak 205 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 2.97 volt pada detik ke-12. Adapun performa variasi ke-62 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



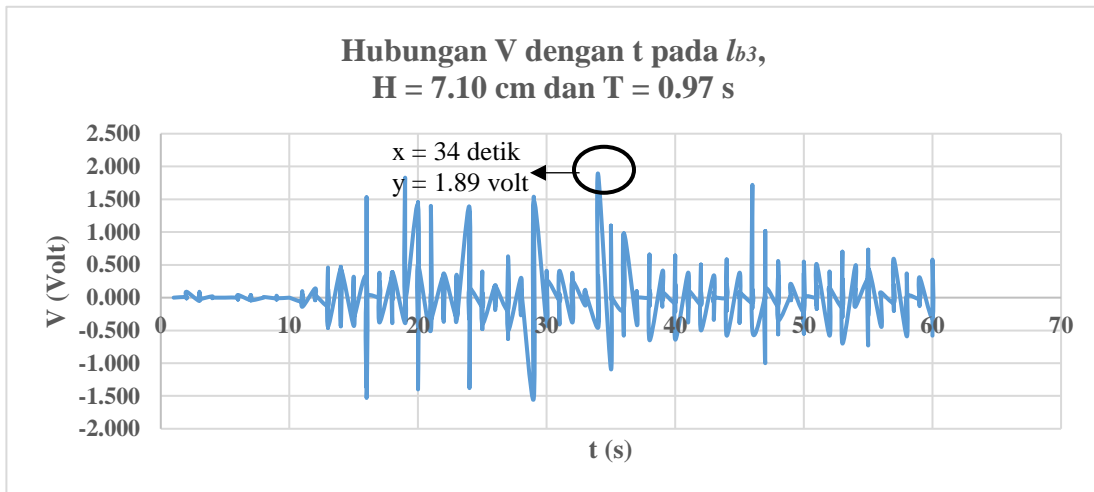
Pada variasi percobaan ke-63, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketiga dengan l_{b3} dan didapatkan *output* V sebanyak 162 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 2.89 volt pada detik ke-14. Adapun performa variasi ke-63 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:.



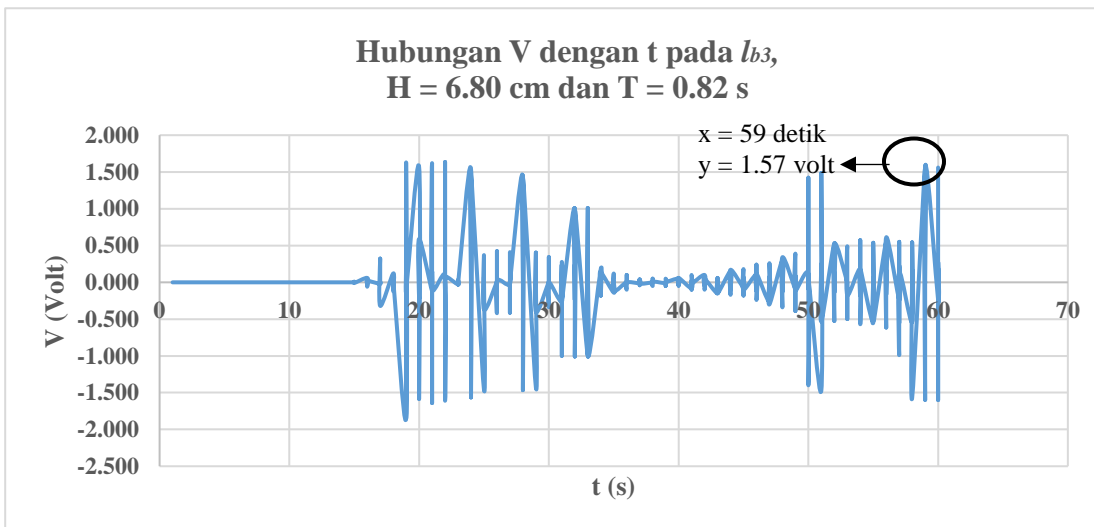
Pada variasi percobaan ke-64, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keempat dengan l_{b3} dan didapatkan *output* V sebanyak 274 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.90 volt pada detik ke-41. Adapun performa variasi ke-64 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



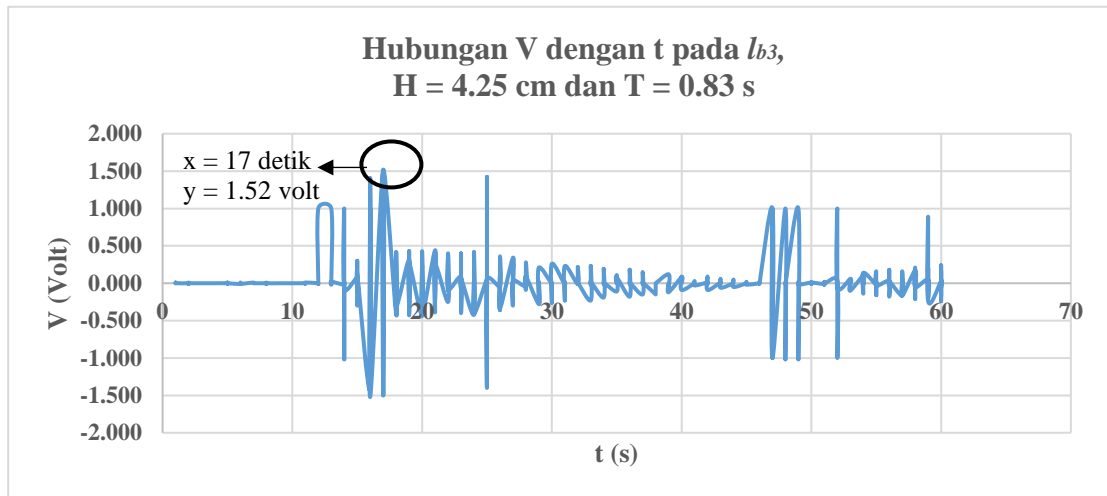
Pada variasi percobaan ke-65, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kelima dengan l_{b3} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.89 volt pada detik ke-34. Adapun performa variasi ke-65 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



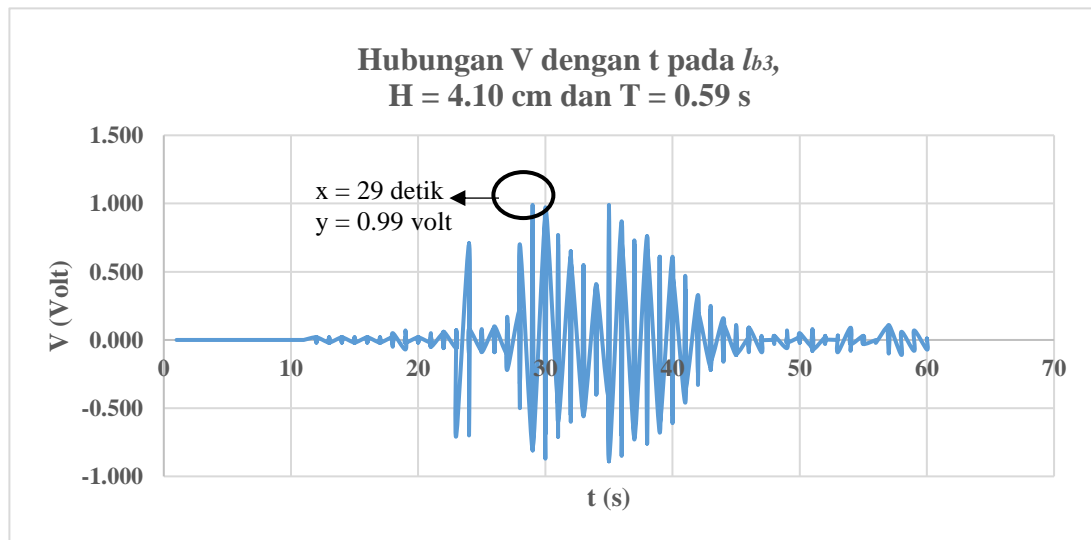
Pada variasi percobaan ke-66, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keenam dengan l_{b3} dan didapatkan *output* V sebanyak 302 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.57 volt pada detik ke-59. Adapun performa variasi ke-66 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



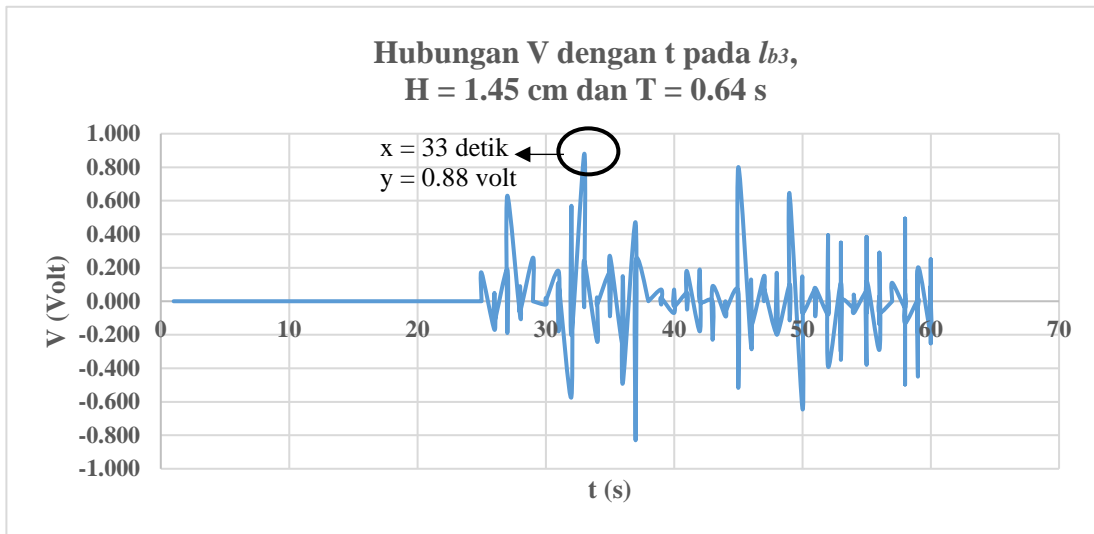
Pada variasi percobaan ke-67, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi ketujuh dengan l_{b3} dan didapatkan *output* V sebanyak 282 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 1.52 volt pada detik ke-17. Adapun performa variasi ke-67 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



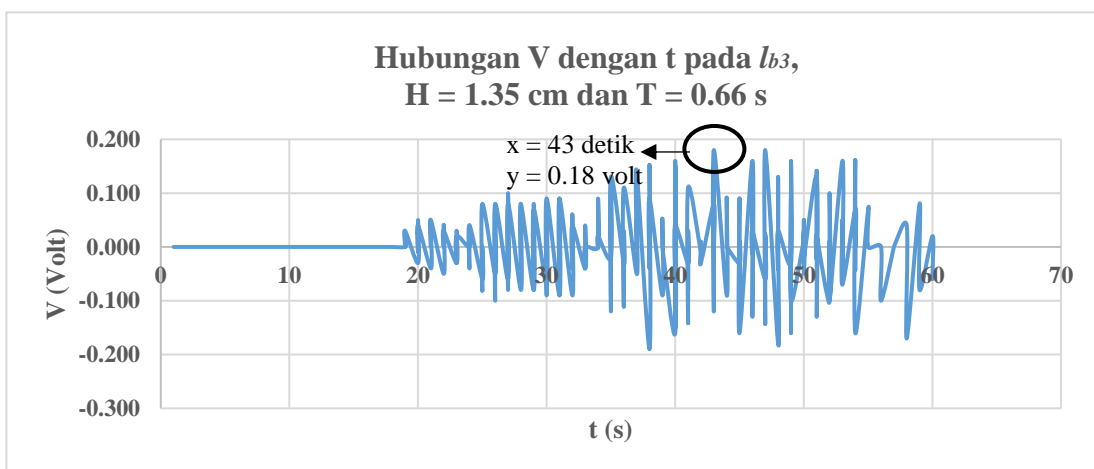
Pada variasi percobaan ke-68, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kedelapan dengan l_{b3} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.99 volt pada detik ke-29. Adapun performa variasi ke-68 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



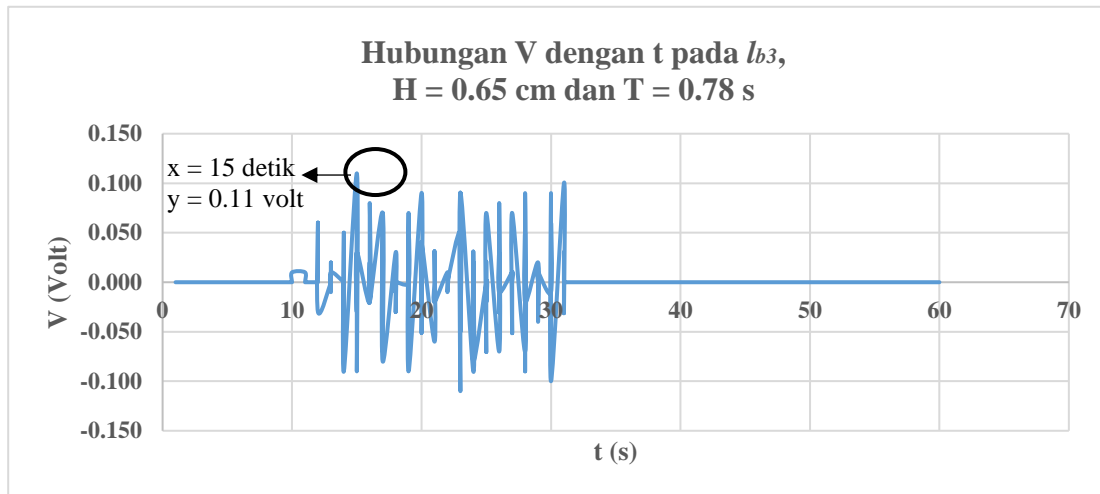
Pada variasi percobaan ke-69, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesembilan dengan l_{b3} dan didapatkan *output* V sebanyak 214 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.88 volt pada detik ke-33. Adapun performa variasi ke-69 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



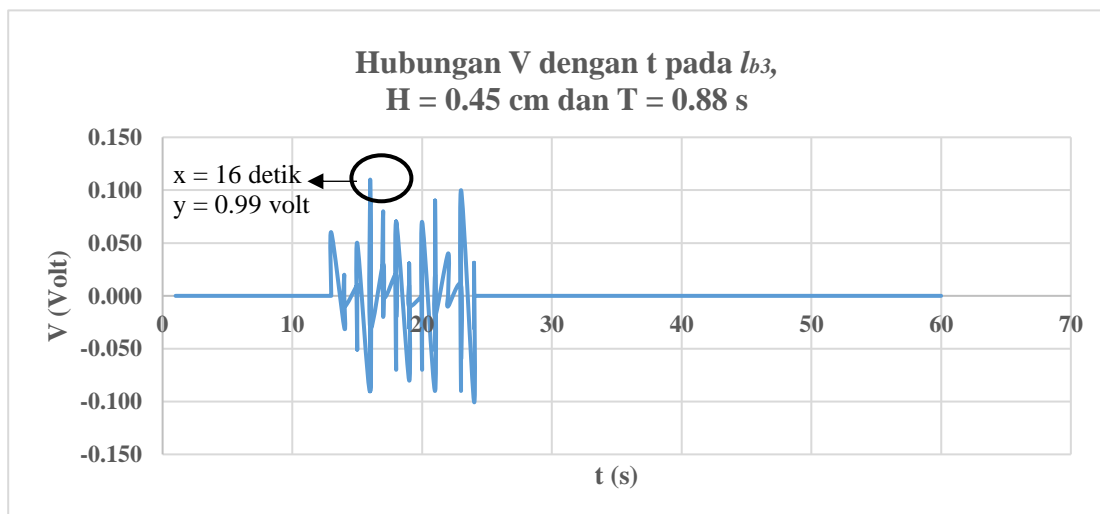
Pada variasi percobaan ke-70, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesepuluh dengan l_{b3} dan didapatkan *output* V sebanyak 250 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.18 volt pada detik ke-43. Adapun performa variasi ke-70 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Pada variasi percobaan ke-71, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi kesebelas dengan l_{b3} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.11 volt pada detik ke-15. Adapun performa variasi ke-71 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Pada variasi percobaan ke-72, yang menjadi *input* adalah, H/gT^2 pada variasi keduabelas dengan l_{b3} dan didapatkan *output* V sebanyak 287 dalam 60 detik percobaan. Hasil V_{\max} sebesar 0.11 volt pada detik ke-16. Adapun performa variasi ke-72 dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



(halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN C

DATA RATA – RATA TORSI DAN TEGANGAN LISTRIK

*“Dan seandainya pohon-pohon di bumi menjadi pena dan **laut** (menjadi tinta), ditambahkan kepadanya tujuh laut (lagi) sesudah (kering)nya, niscaya tidak akan habis-habisnya (dituliskan) kalimat Allah. Sesungguhnya Allah Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana.”*
(QS. Luqman: 27)

Lampiran C. Rata – Rata Torsi dan Tegangan Listrik

No	H/gT ² (10 ⁻⁴)	Rata – Rata Torsi (N.m) (10 ⁻⁴)						Rata – Rata Tegangan Listrik (volt) (10 ⁻¹)					
		Di atas			Di bawah			Di atas			Di bawah		
		18°	19°	20°	67°	71°	88°	18°	19°	20°	67°	71°	88°
1	119	18,4	29,5	36,1	34,1	37,3	50,2	2,21	3,54	4,33	4,09	4,48	6,02
2	107	17,8	27,9	34,3	29,3	32,7	42,4	2,13	3,35	4,12	3,51	3,92	5,09
3	108	16,7	25,8	33,4	24,9	32,5	39,2	2	3,1	4,01	2,99	3,9	4,7
4	99	12,6	21,3	32,3	14,2	28,2	35,8	1,51	2,55	3,88	1,7	3,38	4,29
5	78	12,3	18,8	25	12,8	19,7	25,8	1,47	2,25	3	1,53	2,36	3,09
6	33	8,8	12,5	21,3	9	13	22,4	1,05	1,5	2,56	1,08	1,56	2,69
7	63	6,3	8,5	16,3	7,3	9,2	16,8	0,75	1,02	1,95	0,88	1,1	2,01
8	43	1,4	3,9	13,2	2,3	4,4	16,6	0,17	0,47	1,58	0,27	0,53	1,99
9	78	0,8	1,7	8,2	1,8	1,9	8,6	0,1	0,2	0,98	0,21	0,23	1,03
10	16	0	0	2,1	1,2	1,4	3,5	0	0	0,25	0,14	0,17	0,42
11	8	0	0	0,8	0	0	1,2	0	0	0,1	0	0	0,14
12	1	0	0	0	0	0	0,7	0	0	0	0	0	0,08

Keterangan: Bagian yang diberi warna merupakan bagian yang mempunyai torsi dan tegangan listrik tertinggi.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

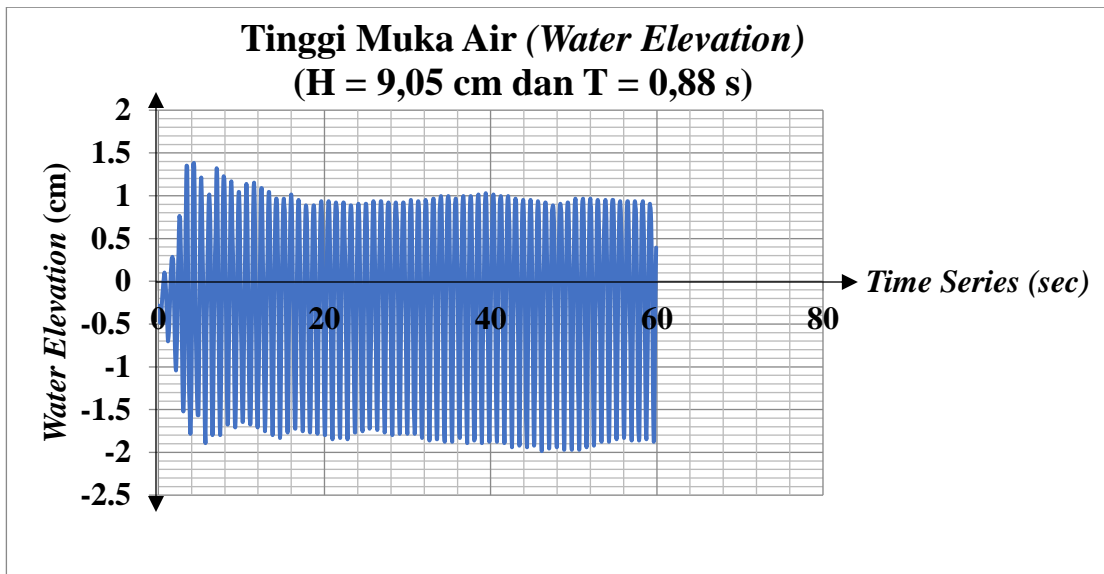


LAMPIRAN D

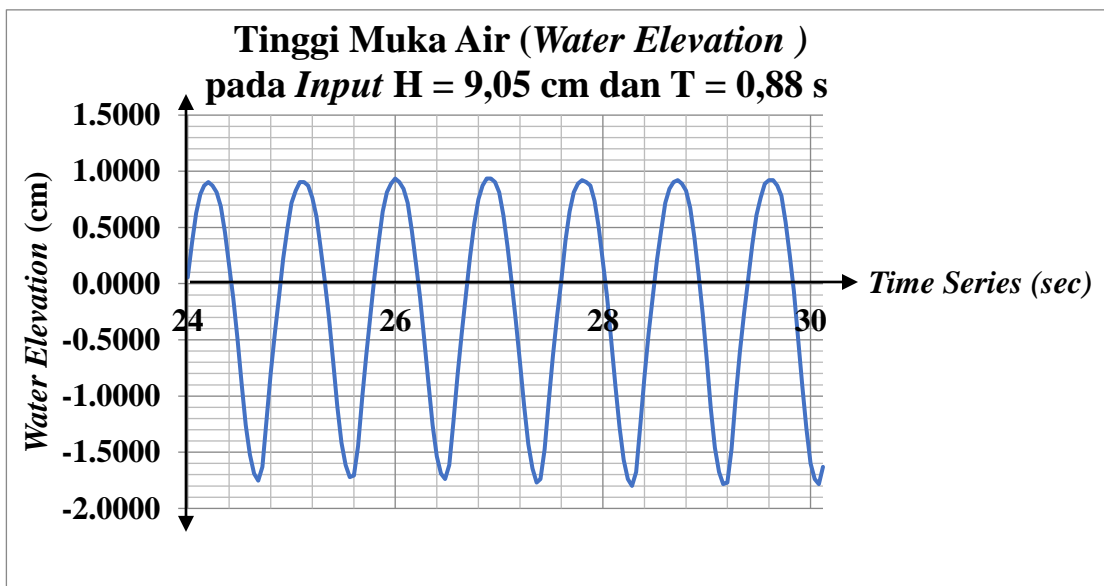
GRAFIK GELOMBANG REGULER

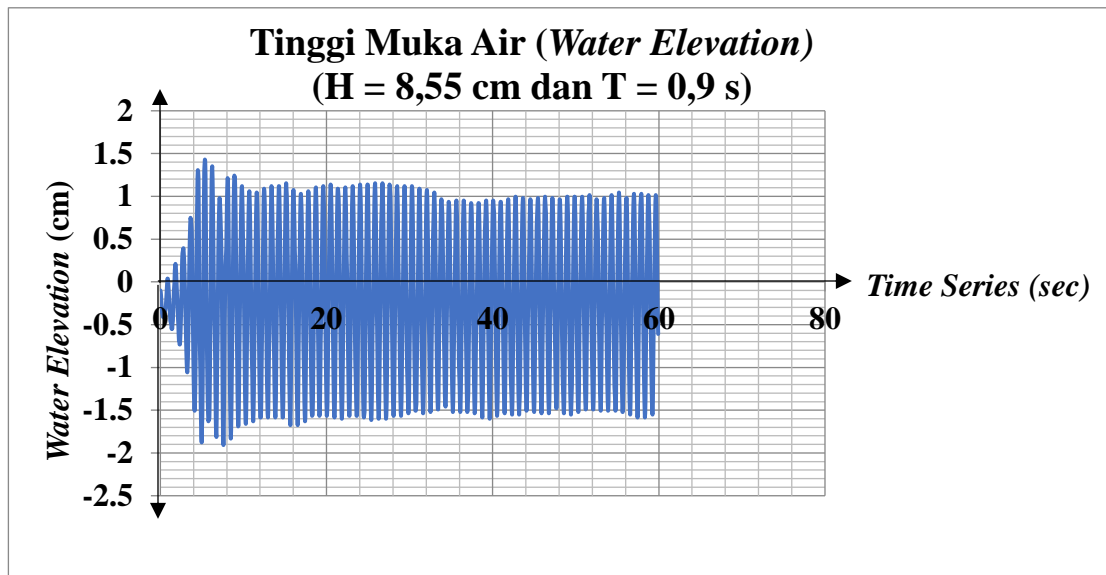
*Dan tiada sama (antara) dua **laut**; yang ini tawar, segar, sedap diminum dan yang lain asin lagi pahit. Dan dari masing-masing **laut** itu kamu dapat memakan daging yang segar dan kamu dapat mengeluarkan perhiasan yang dapat kamu memakainya, dan pada masing-masingnya kamu lihat kapal-kapal berlayar membelah **laut** supaya kamu dapat mencari karunia-Nya dan supaya kamu bersyukur.*
(Q.S. Faathir: 12)

Lampiran D. Grafik Gelombang Reguler dari Data Percobaan Laboratorium

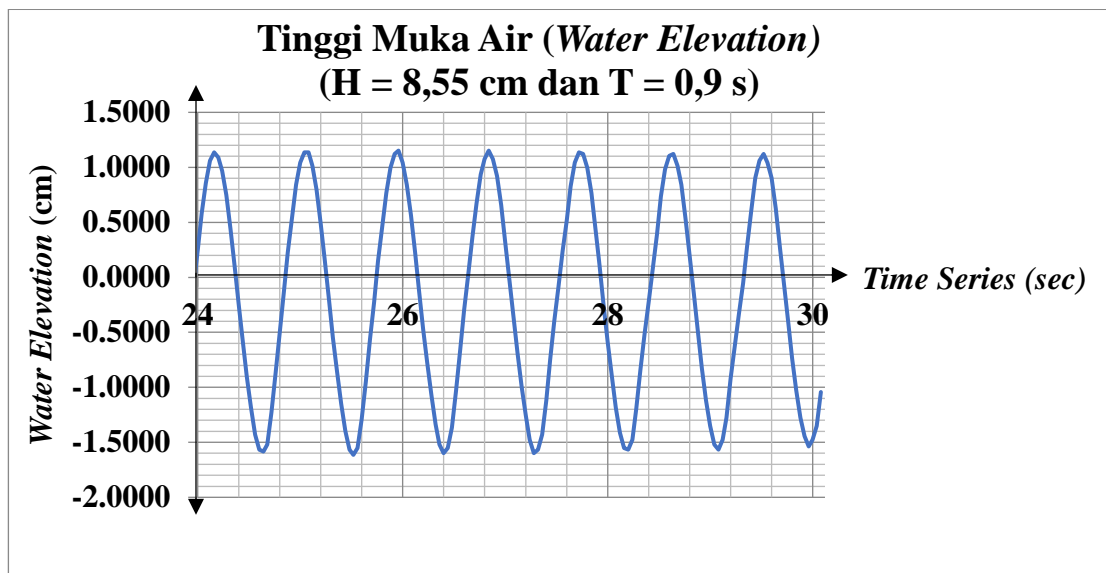


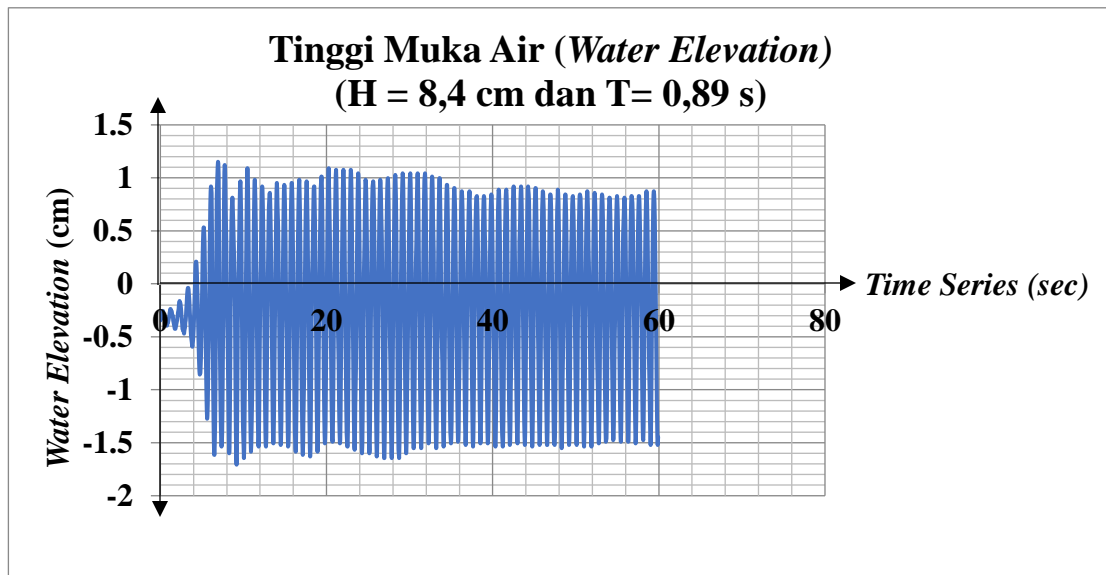
Apabila ingin mengetahui bahwa grafik tersebut adalah gelombang regular sesuai pada penelitian tugas akhir ini, maka perlu diperbesar dengan cara mengambil beberapa data hasil percobaan. Misalnya, diambil data gelombang selama enam detik pada detik ke-24 sampai ke-30, sebagaimana pada gambar di bawah ini:



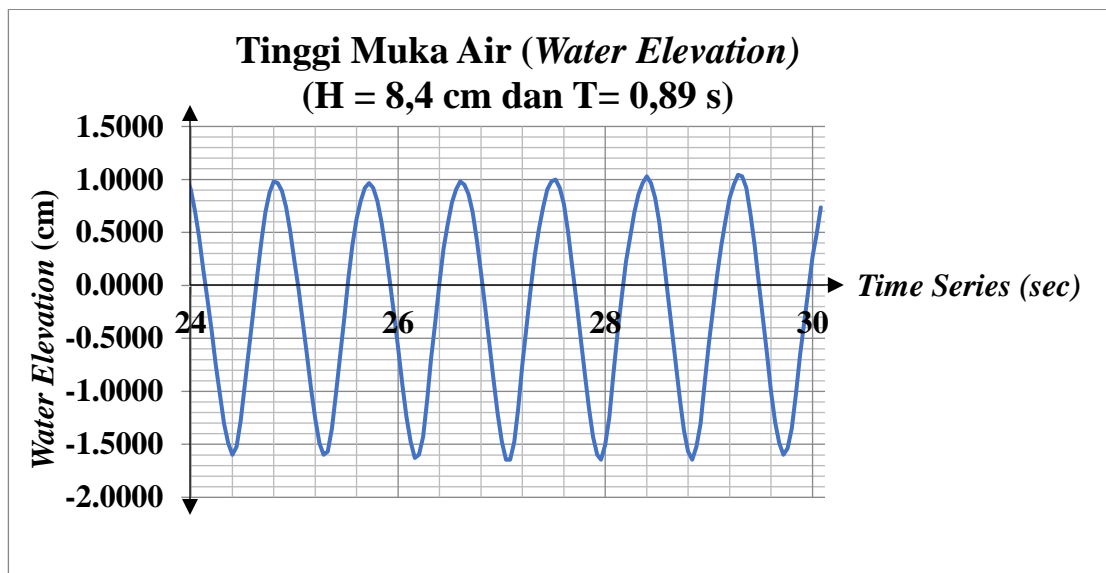


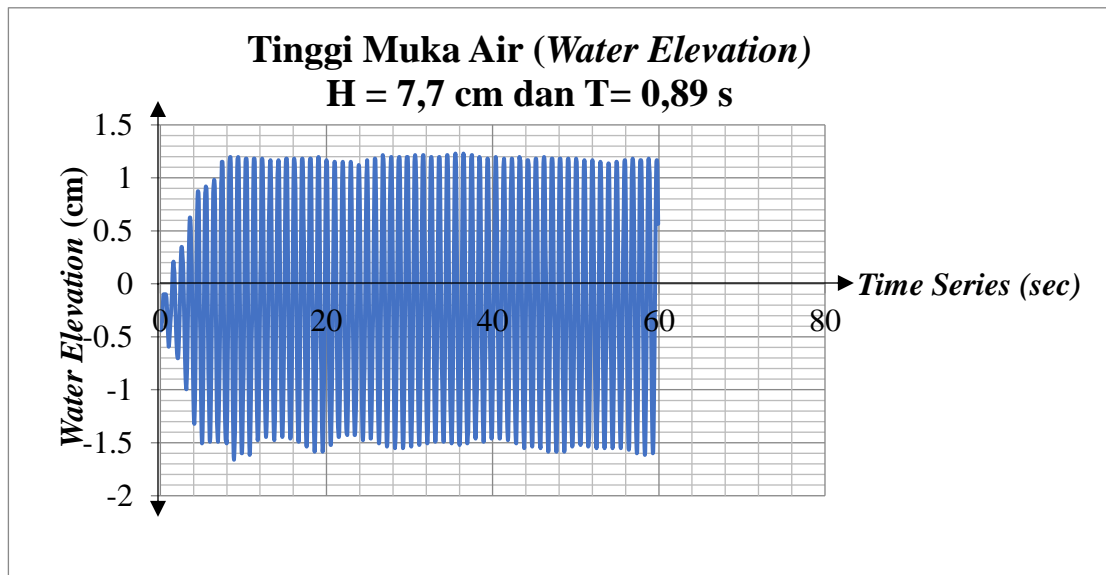
Apabila ingin mengetahui bahwa grafik tersebut adalah gelombang regular sesuai pada penelitian tugas akhir ini, maka perlu diperbesar dengan cara mengambil beberapa data hasil percobaan. Misalnya, diambil data gelombang selama enam detik pada detik ke-24 sampai ke- 30, sebagaimana pada gambar di bawah ini:



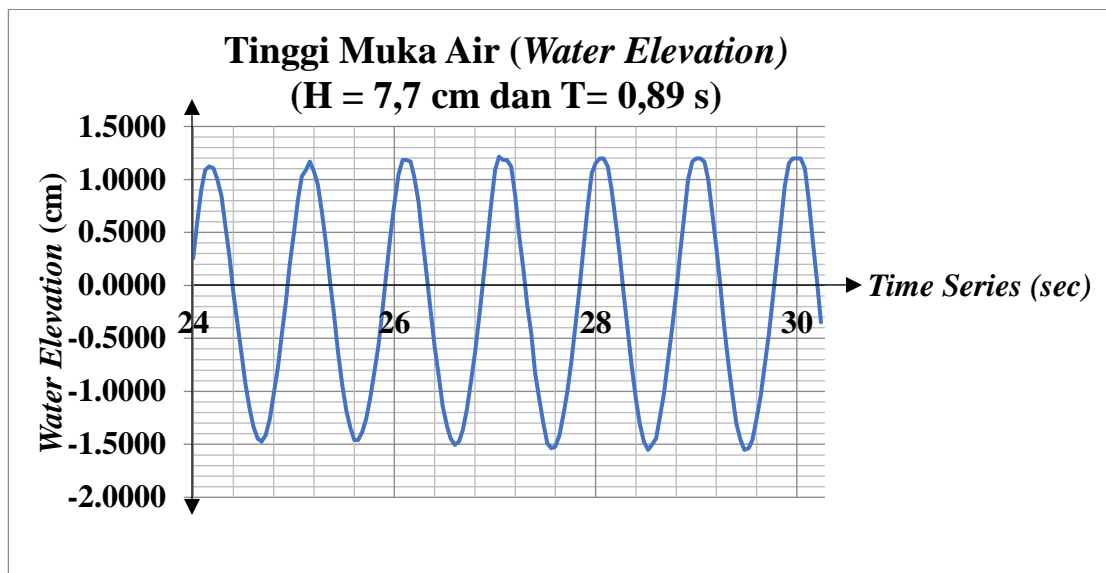


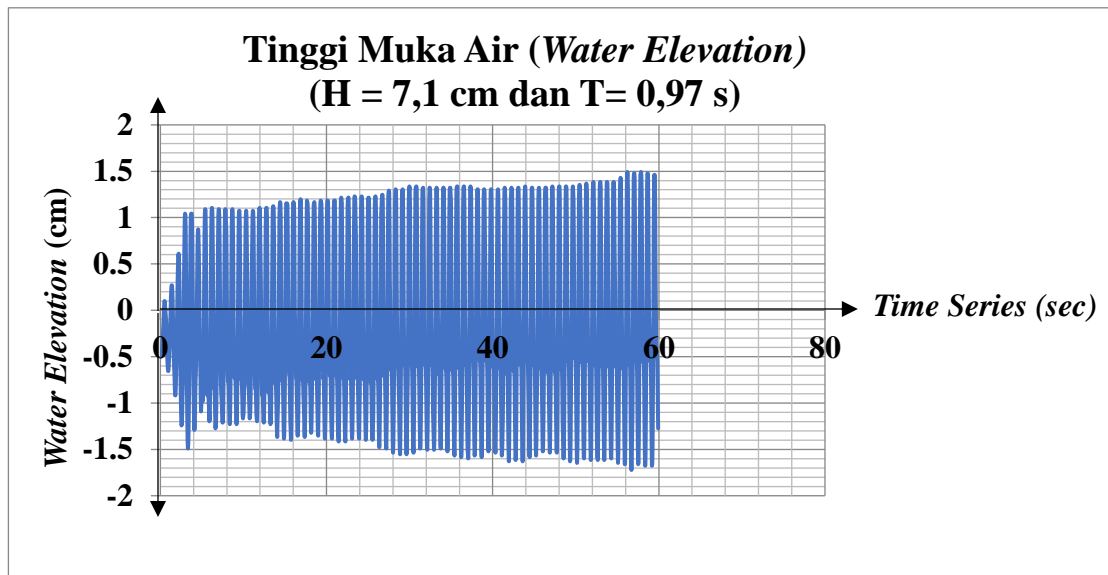
Apabila ingin mengetahui bahwa grafik tersebut adalah gelombang regular sesuai pada penelitian tugas akhir ini, maka perlu diperbesar dengan cara mengambil beberapa data hasil percobaan. Misalnya, diambil data gelombang selama enam detik pada detik ke-24 sampai ke- 30, sebagaimana pada gambar di bawah ini:



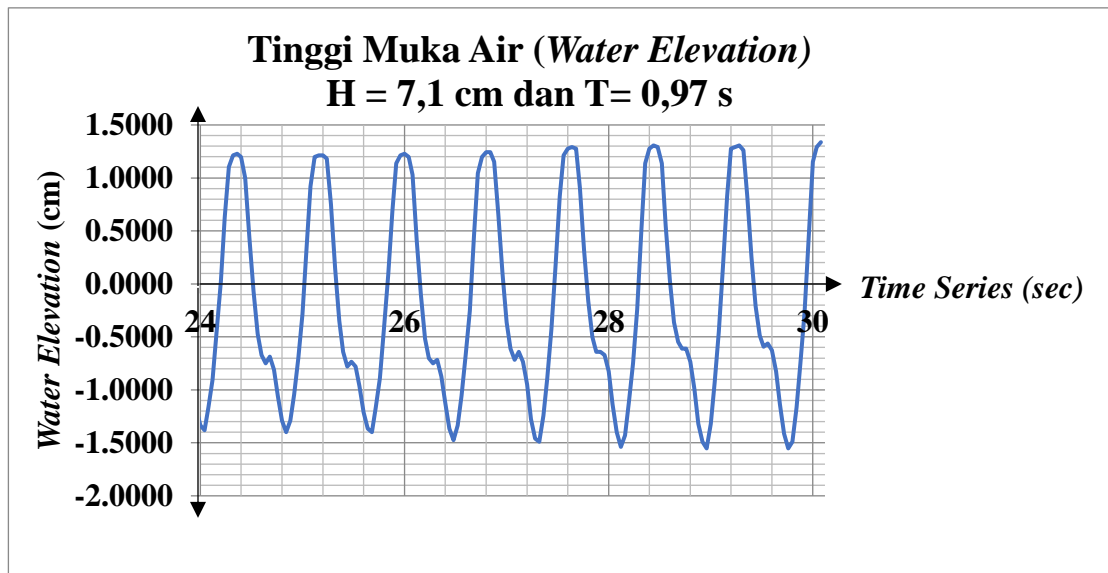


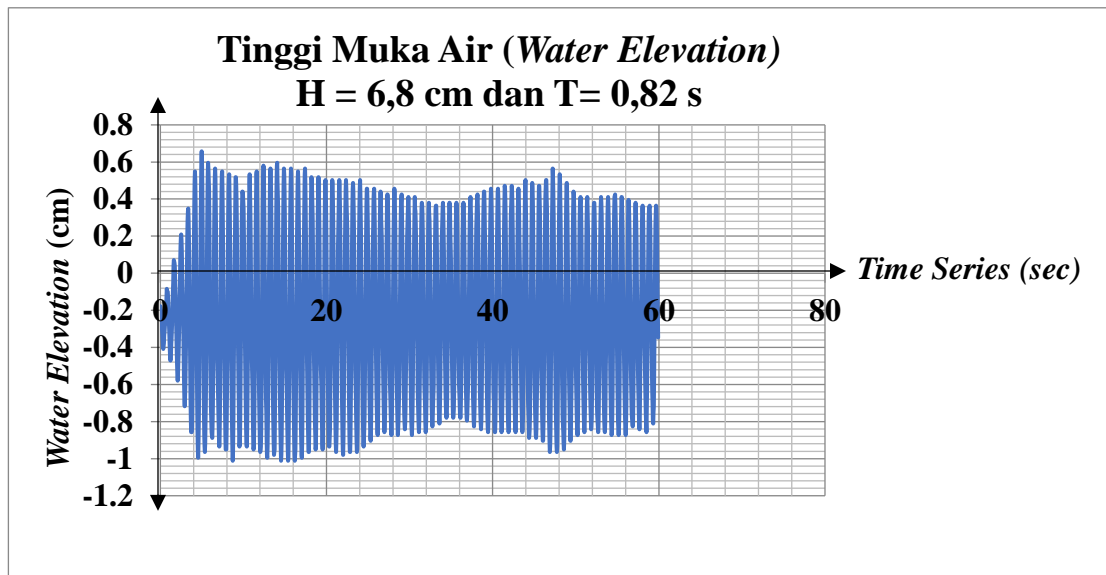
Apabila ingin mengetahui bahwa grafik tersebut adalah gelombang regular sesuai pada penelitian tugas akhir ini, maka perlu diperbesar dengan cara mengambil beberapa data hasil percobaan. Misalnya, diambil data gelombang selama enam detik pada detik ke-24 sampai ke- 30, sebagaimana pada gambar di bawah ini:



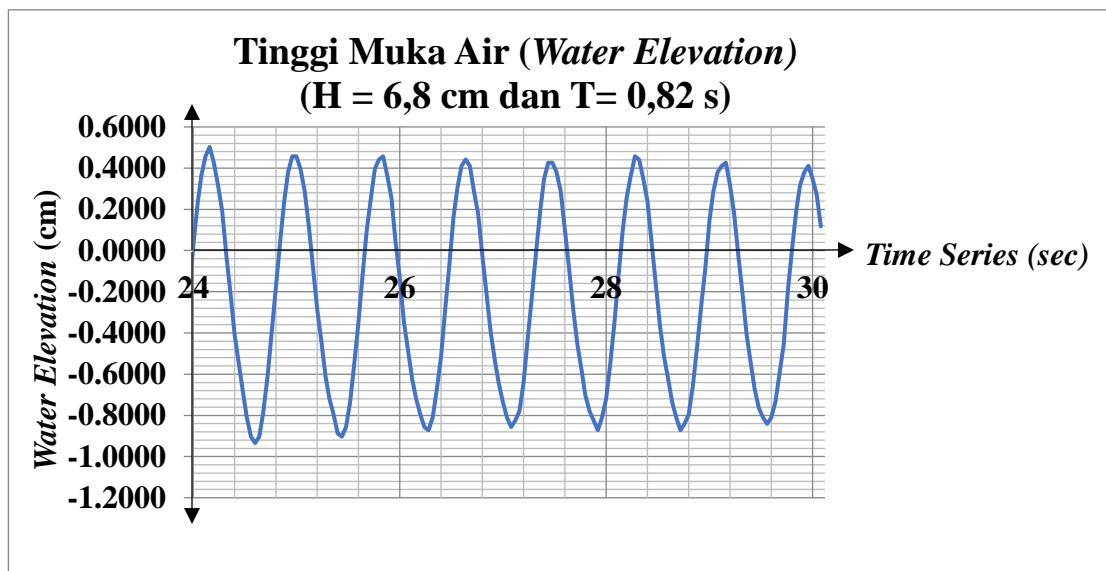


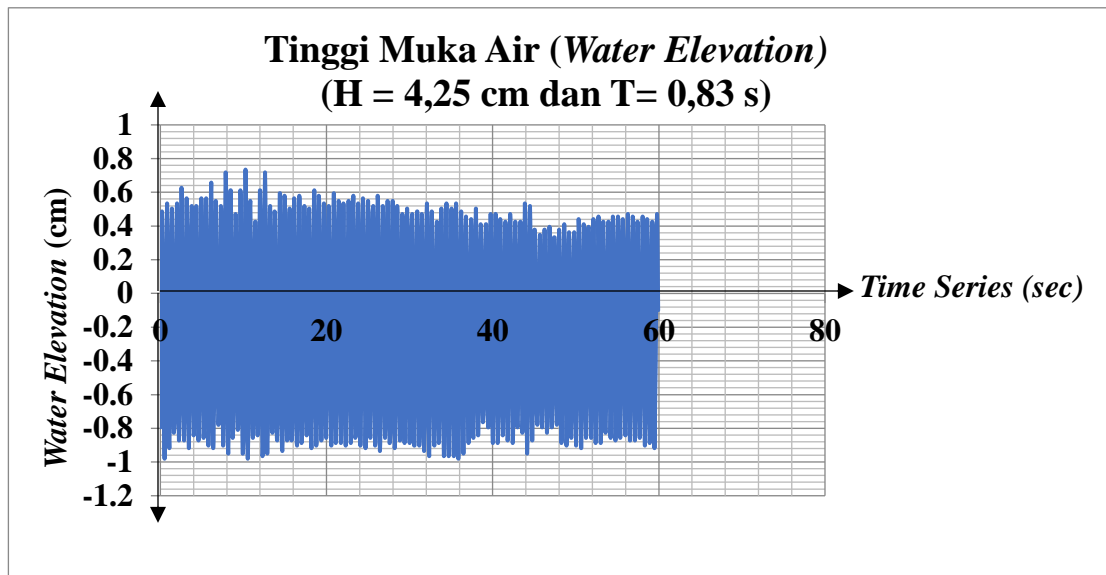
Apabila ingin mengetahui bahwa grafik tersebut adalah gelombang regular sesuai pada penelitian tugas akhir ini, maka perlu diperbesar dengan cara mengambil beberapa data hasil percobaan. Misalnya, diambil data gelombang selama enam detik pada detik ke-24 sampai ke- 30, sebagaimana pada gambar di bawah ini:



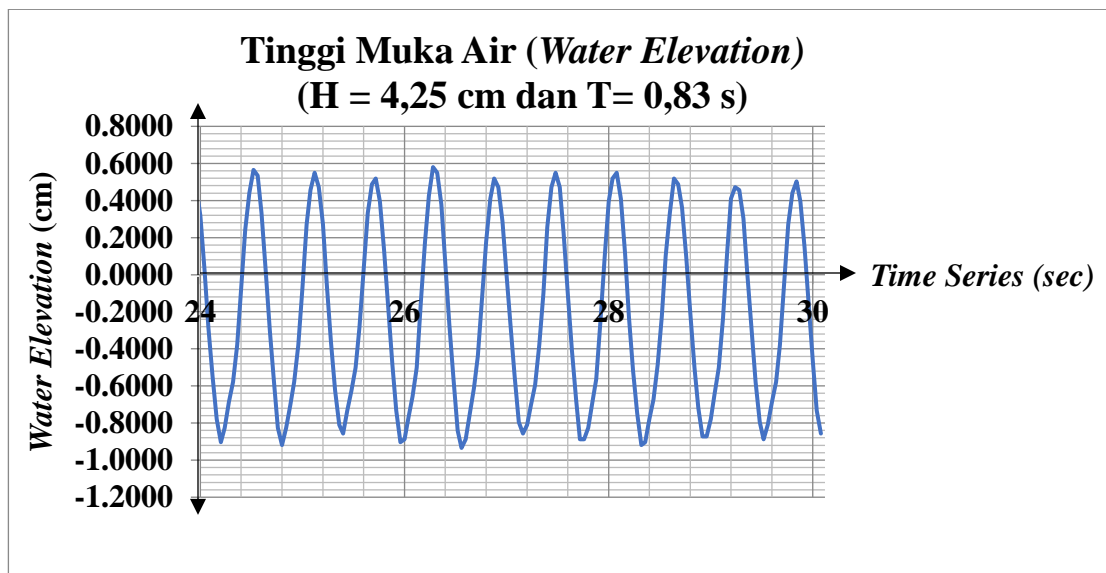


Apabila ingin mengetahui bahwa grafik tersebut adalah gelombang regular sesuai pada penelitian tugas akhir ini, maka perlu diperbesar dengan cara mengambil beberapa data hasil percobaan. Misalnya, diambil data gelombang selama enam detik pada detik ke-24 sampai ke- 30, sebagaimana pada gambar di bawah ini:





Apabila ingin mengetahui bahwa grafik tersebut adalah gelombang regular sesuai pada penelitian tugas akhir ini, maka perlu diperbesar dengan cara mengambil beberapa data hasil percobaan. Misalnya, diambil data gelombang selama enam detik pada detik ke-24 sampai ke-30, sebagaimana pada gambar di bawah ini:



(halaman ini sengaja dikosongkan)

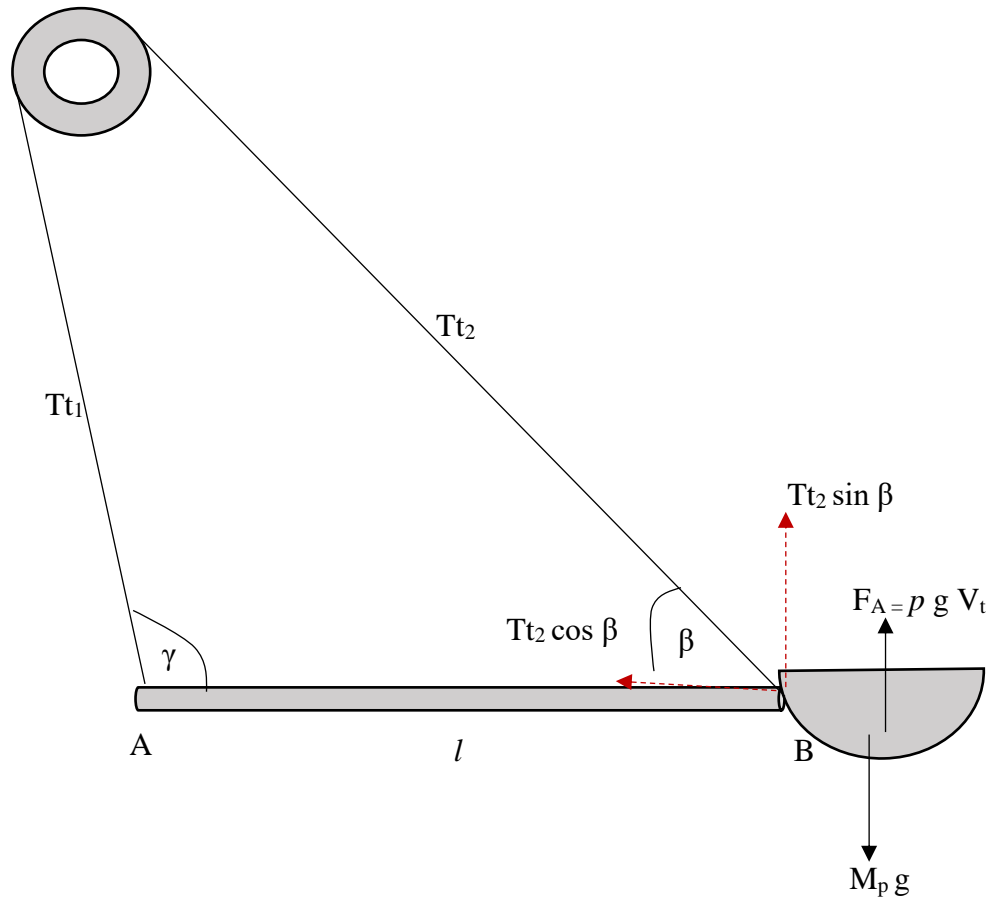


LAMPIRAN E

PENURUNAN PERSAMAAN MATEMATIK

Dia membiarkan dua lautan mengalir yang keduanya kemudian bertemu, antara keduanya ada batas yang tidak dilampaui masing-masing.
(*Q.S. Ar- Rahman: 19 - 20*)

Lampiran E. Penurunan Persamaan Matematik pada Sistem PLTGL FFH



Ditinjau pada titik B

$\sum F = 0$, keadaan awal diam

$$- M_p g + F_A + T_{t2} \sin \beta = 0$$

$$T_{t2} \sin \beta = M_p g - F_A$$

$$T_{t2} = \frac{M_p g - F_A}{\sin \beta}$$

Pada keadaan diam, gear diam maka,

$$\sum \tau = 0$$

$$T_{t1} R - T_{t2} R = 0$$

$$T_{t1} = T_{t2} = \frac{M_p g - F_A}{\sin \beta}$$

Pada keadaan bergerak, T_{t2} bergerak mengendur sehingga $T_{t2} = 0$, sedangkan T_{t1} masih dalam keadaan tegang, sehingga

$$\sum \tau = I \alpha$$

$$T_{t1} R - T_{t2} R = I_{\text{dinamo}} \alpha$$

$$\left(\frac{M_p g - F_A}{\sin \beta} \right) R - 0 = I_{\text{dinamo}} \alpha$$

$$\alpha = \frac{(M_p g - F_A) R}{I_{\text{dinamo}} \sin \beta}$$

$$\frac{\omega}{t} = \frac{(M_p g - F_A) R}{I_{\text{dinamo}} \sin \beta}$$

$$\omega = \frac{(M_p g - F_A) R t}{I_{\text{dinamo}} \sin \beta}$$

Adapun penurunan faktor skala pada sistem PLTGL FFH adalah sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\text{besaran di prototype}}{\text{besaran di model}}$$

$$\lambda = \frac{Fr_p}{Fr_m} = 1$$

$$Fr_p = Fr_m$$

$$\text{Dimana, } Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

$$\text{Sehingga, } \frac{V}{\sqrt{g_p h_p}} = \frac{V}{\sqrt{g_m h_m}}$$

$$\frac{V_p}{V_m} = \left[\frac{g_p}{g_m} \times \frac{h_p}{h_m} \right]^{1/2}$$

$$\frac{V_p}{V_m} = \left[\frac{h_p}{h_m} \right]^{1/2}$$

$$\text{Jadi, } \lambda_v = \lambda_h^{1/2}$$

$$\text{Karena, } t = \frac{h}{V}$$

$$\text{Maka, } \lambda_t = \frac{\lambda_h}{\lambda_v} = \frac{\lambda_h}{\sqrt{\lambda_h}} = \sqrt{\lambda_h} = \lambda_h^{1/2}. \text{ Jadi, faktor skala dari waktu adalah, } \lambda^{1/2}$$



LAMPIRAN F

ANGGARAN BIAYA

"Dan Kami memungkinkan Bani Israil melintasi laut, lalu mereka diikuti oleh Fir'aun dan bala tentaranya, karena hendak menganiaya dan menindas (mereka); hingga bila Fir'aun itu telah hampir tenggelam berkatalah dia: "Saya percaya bahwa tidak ada Tuhan melainkan Tuhan yang dipercayai oleh Bani Israil, dan saya termasuk orang-orang yang berserah diri (kepada Allah)."

(Q.S. Yunus : 90)

Lampiran F. Anggaran Biaya

No	Peralatan Dan Bahan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	<i>Styrofoam</i>	2	50.000	100.000
2	Fiber	5 Lapis	10.000	50.000
3	Dempul	2 Kaleng	25.000	50.000
4	Semen	1 sak	71.000	15.000
5	PVC	2 meter	10.000	20.000
6	Lem	1	5000	5.000
7	Tali	5 meter	5000	25.000
8	Dinamo	1	50.000	50.000
9	Gear	1	10.000	10.000
10	Voltmeter	1	100.000	100.000
11	Cat	1 kaleng	50.000	50.000
12	Pilok	1	85.000	85.000
13	Amplas	5 lapis	15.000	75.000
14	Kayu	2	15.000	30.000
15	Biaya lain - lain	-	-	200.000
TOTAL				865.000

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BIODATA PENULIS

*“Seseorang pernah menanyakan pada Nabi shallallahu ‘alaihi wa sallam, “Wahai Rasulullah, kami pernah naik kapal dan hanya membawa sedikit air. Jika kami berwudhu dengannya, maka kami akan kehausan. Apakah boleh kami berwudhu dengan air **laut**?” Rasulullah shallallahu ‘alaihi wa sallam lantas menjawab, “Air **laut** itu suci dan bangkainya pun halal.”*
(HR. Abu Daud no. 83, An Nasai no. 59, At Tirmidzi no. 69. Syaikh Al Albani mengatakan bahwa hadits ini *shahih*)

BIODATA PENULIS



Sebut saja Madi, penulis dengan nama yang singkat itu dilahirkan di Kabupaten Serang, Propinsi Banten, pada tanggal 10 Juli 1994. Penulis adalah, anak keenam dari tujuh bersaudara. Ayahnya bernama Ranim yang bekerja sebagai buruh tani, dahulu sebagai tukang goes becak. Sedangkan ibunya bernama Suprah yang bekerja sebagai buruh tani, dahulu sebagai penjual rempah-rempah di pasar tradisional.

Selama perjalanannya menjadi seorang mahasiswa di ITS angkatan 2013, penulis tidak hanya aktif di dalam kelas untuk menyelesaikan akademiknya, tapi penulis juga aktif di luar kelas dalam hal belajar berkontribusi untuk masyarakat melalui program sosial yang diikutinya seperti salah satunya adalah, Sekolah Desa Produktif Beastudi Etos Surabaya, dan saat ini telah mendirikan program sosial sedekah buku untuk anak-anak panti asuhan. Selain itu, penulis juga aktif belajar berorganisasi yaitu, sebagai Ketua Divisi Ristek, Wakil Ketua Trainer Keilmiah ITS dan Ketua Departemen Inovasi Karya. Penulis juga aktif dalam mengikuti perlombaan dibidang karya tulis ilmiah, karya tulis wirausaha dan karya tulis jurnalistik, tak heran jika prestasi dibidang tulis-menulis telah dikumpulkan kurang lebih 40 prestasi selama perjalanan menjadi mahasiswa, baik di dalam maupun di luar negeri.

Belajar akademik, berprestasi, berorganisasi dan mengikuti program sosial saja tidaklah cukup baginya jika tidak diiringi dengan ibadah kepada Allah SWT. Sehingga, penulis juga aktif dalam bidang keagamaan seperti menjadi mentor dalam mentoring Lembaga Dakwah Jurusan. Selain itu, penulis juga menambahkan kemandiriannya dengan mencari penghasilan sendiri seperti jualan donat, jualan minuman, jualan buku, jualan boneka wisuda dan menjadi guru *private* hingga dipercaya sebagai asisten dosen. Selain itu, penulis juga tak pernah bosan untuk berbagi ilmu melalui undangan sebagai pembicara motivasi berprestasi, pembicara karya tulis ilmiah, jurnalistik dan wirausaha baik di dalam maupun di luar kampus ITS. Penulis juga telah membangun perusahaan penerbitan dan percetakan buku sejak tahun kedua status mahasiswa, dengan *brand* CV Sinar Gamedia. Alhamdulillah atas kerja keras dan doa, penulis dipercaya sebagai The Best Etozer Profil Unggul dan Pemimpin, selain itu dipercaya sebagai Mahasiswa Bidikmisi Berprestasi 2017 hingga memperoleh Juara 2 MAWAPRES ITS 2017.

Pengalaman penulis dalam karya tulis ilmiah fokus pada bidang energi laut, tak heran jika karya tulis ilmiah yang dilombakan baik itu PKM, KTI, Paper dan sejenisnya selalu membawakan tema energi laut, hingga Kerja Praktek pun dibidang energi. Alhamdulillah sampai saat ini telah menyelesaikan tugas akhir bidang energi laut dengan judul, “Uji Coba Laboratorium Pengaruh Desain Lengan pada Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Tipe *Flap Float Horizontal: Gelombang Regular*”.

Apabila pembaca buku TA ini ingin mengetahui penulis lebih lanjut bisa menghubungi lewat email: madi.arranim@gmail.com atau Instagram @madi_arranim.

(halaman ini sengaja dikosongkan)